

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Využití multiparametrické diagnostiky při
určování technického stavu obráběcích strojů

Use of multiparametric diagnostics in
determining the technical condition of
machine tools

Student:

Bc. Michal Bartoň

Vedoucí práce:

Ing. Jan Blata Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Bartoň**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Využití multiparametrické diagnostiky při určování technického stavu
obráběcích strojů**
**Use of Multiparametric Diagnostics in Determining the Technical
Condition of Machine Tools**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce se zabývejte problematikou aplikace online diagnostiky a multiparametrické diagnostiky na obráběcích centrech. Rozeberte problematiku týkající se této aplikace, zvolte vhodná místa pro umístění snímačů. Popište přístrojovou techniku a softwarové nastavení pro tuto aplikaci. Proveďte potřebná měření, včetně vyhodnocení naměřených dat.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte potřebná měření.
5. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha

1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1. vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. 5. 2018

.....
podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ведо́мí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ведо́мí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18.5.2018


.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Bartoň

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jilemnického 972, 742 21 Kopřivnice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BARTOŇ M. *Využití multiparametrické diagnostiky při určování technického stavu obráběcích strojů*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 55 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá využitím multiparametrické diagnostiky k určování technického stavu obráběcích strojů. Na začátku je krátké seznámení se společností TATRA TRUCKS a.s., ve které byla provedena praktická část. Po té následuje teoretická část diplomové práce, kde jsou rozebrány systémy údržby, metody technické diagnostiky zejména ty které byly využity k určení technického stavu pěti obráběcích center. Druhá část diplomové práce obsahuje praktickou část, kde jsou vyhodnoceny naměřené vibrace a provedené rozborů odebraných olejů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BARTOŇ M. *Use of multiparametric diagnostics in determining the technical condition of machine tools*. Master thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. Department of Production Machines and Design, 2018, 55 p. leading thesis Ing. Jan Blata, Ph.D

The master thesis deals with the use of multiparametric diagnostics to determine the technical condition of machine tools. At the beginning, there is a brief introduction to Tatra Trucks a.s, in which a practical part was made. Then follows the theoretical part of the master thesis, which deals with maintenance systems, methods of technical diagnostics, especially those used to determine the technical condition of five machining centers. The second part of the master thesis contains a practical part, where the measured vibrations and analyzes of collected oils are evaluated.

Obsah

Přehled použitých značek a jednotek	1
1 Úvod	2
2 TATRA TRUCKS a.s	3
3 Systémy údržby	5
3.1 Údržba po poruše	5
3.2 Preventivní údržba	5
3.3 Prediktivní údržba	5
3.4 Proaktivní údržba	5
4 Technická diagnostika	6
5 Multiparametrická diagnostika	8
6 Vibrodiagnostika	9
6.1 Rozdělení signálu	9
6.2 Veličiny popisující časový signál	10
6.3 Snímače vibrací	11
6.3.1 Rozdělení snímačů	11
6.3.2 Připevnění snímačů	12
6.4 Analýza vibrací	13
6.5 Diagnostika závad	14
6.5.1 Poškození valivého ložiska	14
6.5.2 Nevyváženost	17
6.5.3 Nesouosost	20
7 Online diagnostika (dálková diagnostika)	21
8 Tribodiagnostika	22
8.1 Rozdělení metod tribodiagnostiky:	22
8.2 Odběr vzorků oleje pro analýzu	23
8.3 Obsah vody	24
8.4 Kinematická viskozita	25
8.5 Číslo kyselosti	26
8.6 Kód čistoty	27
8.7 Spektrální analýza	28
8.8 Rentgenová spektrometrie	29
9 Aplikace vibrodiagnostiky	30
9.1 Analyzátor Adash A4410 VA4 Pro	30
9.2 Umístění snímačů	32
10 Zpracované měření a rozbor oleje:	33
10.1 Referenční vzorek oleje HM 46	33

10.2	Vertikální obráběcí centrum MCFV 1260.....	34
10.3	Vertikální obráběcí centrum MCV 1270.....	38
10.4	Obráběcí centrum Heckert 500.....	41
10.5	Obráběcí centrum HEC 630	46
10.6	Obráběcí centrum Hec 800	51
11	Závěr	54
	Seznam použitých zdrojů.....	57
	Přílohy:.....	59

Přehled použitých značek a jednotek

A	Axiální směr
a	Zrychlení [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$]
a.s	Akciová společnost
CNC	Číslicové řízení počítačem
euro 6	Emisní norma
f	Frekvence
FFT	Rychlá fourierova transformace
FT-IR	Fourierova transformace s infračervenou spektrometrií
H	Horizontální směr
n	Otáčky [min^{-1}]
Obr.	Obrázek
RMS	Efektivní hodnota
RTG	Rentgenové zařízení
T	Perioda
Tzn.	To znamená
V	Vertikální směr
v	Rychlost [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]
v_{\max}	Maximální rychlost vibrací [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]
XRF	Rentgenová fluorescence

g	Gram - jednotka hmotnosti
Hz	Hertz - Jednotka frekvence
kg	Kilogram - jednotka hmotnosti
km	Kilometr - jednotka délky
Kg/m^3	Kilogram na metr krychlový - jednotka hustoty
kHz	Kilohertz - jednotka frekvence
m	Metr - jednotka délky
min^{-1}	Otáčky za minutu
mg	Miligram - jednotka hmotnosti
mgKOH/g	Jednotka čísla kyselosti
ml	Mililitr - jednotka objemu
mm	Milimetr - jednotka délky
mm^2/s	Jednotka kinematické viskozity
mm/s	Jednotka rychlosti
s	Sekunda – jednotka času
°C	Stupeň celsia – jednotka teploty

1 Úvod

Úkolem této diplomové práce je zhodnocení technického stavu obráběcích strojů pomocí multiparametrické diagnostiky. To znamená využití více metod technické diagnostiky k jistějšímu zohlednění technického stavu strojního zařízení, jelikož při použití pouze jedné metody se nemusí daná závada projevit. V rámci praktické části byla použita kombinace metod vibrodiagnostiky s tribodiagnostikou, proto i teoretická část je věnována těmto dvěma metodám.

V praktické části jsem kontroloval technický stav pěti obráběcích center ve společnosti TATRA TRUCKS a.s., na výrobní hale motorů. Na všech 5 strojích byly 2x změřeny vibrace, jednou v prosinci 2017 a podruhé v dubnu 2018. Měření bylo provedeno pomocí analyzátoru a probíhalo na vřetenech ve vertikálním horizontálním a axiálním směru. Následně, pomocí software Virtual Unit, byly vibrace zpracovány a vyhodnoceny.

Dále byly 2x odebrány vzorky olejů, ze 4 strojů. Jednalo se o hydraulické oleje systému a u jednoho stroje byl odebrán převodový olej od vřetene. Následně byly provedeny ve školní laboratoři rozboru těchto olejů, jejichž princip je rozepsán v teoretické části. K dispozici jsem dostal jeden referenční vzorek oleje Paramo HM46, který se používá u 3 kontrolovaných strojů. Výsledky rozboru jsou zapsány v tabulce a porovnány s referenčním vzorkem.

Na základě získaných dat dvou metod technické diagnostiky jsem určil technický stav daných obráběcích center a zkontroloval vlastnosti použitého oleje.

Jsem vděčný, že jsem si mohl tyto metody vyzkoušet v praxi a obzvlášť v takové firmě, jakou je světově uznávaná Kopřivnická Tatra. K této společnosti mám blízký vztah, jelikož většina mé rodiny tady pracuje, nebo pracovala celý život. Samotné město Kopřivnice je dnes městem jenom díky Tatře, která se velkou mírou podílela na jeho vybudování.

2 TATRA TRUCKS a.s

Při tvorbě této kapitoly bylo čerpáno ze zdrojů [5], [6], [8] a [9]

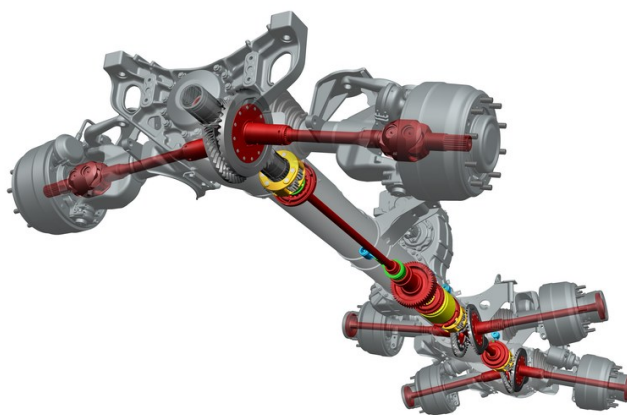
Tatra je jedna z nejstarších automobilek na světě sídlící ve městě Kopřivnice. Její historie sahá až do roku 1850, kdy Ignác Šustala započal s dvěma tovaryši výrobu bryček a kočárů, tehdy pod názvem Ignatz Schustala & Comp. Název firmy se v průběhu historie ještě několikrát změnil, než jak ho známe dnes. V roce 1897 byl v Kopřivnici vyroben jeden z prvních automobilů na světě se jménem Präsident, jehož název byl mimochodem využit při příležitosti připomenutí 120 let od jeho výroby, limitovanou edicí TATRA PHOENIX Euro 6 PRÄSIDENT.



Obr.1: automobil Präsident [6]

V roce 1898 začala výroba nákladních automobilů, která vydržela jako jediná až do současnosti. Ačkoliv se jedná o automobilku, Tatra produkovala více dopravních prostředků. Ještě před prvním automobilem se zde vyráběly nákladní železniční vagóny a to od roku 1882 a od roku 1886 osobní železniční vagóny. Při této zmínce nelze opomenout motorový vůz Tatra 68 neboli Slovenská strela, kterou si u Tatry objednalo ministerstvo železnic. Vyrobené byly pouze 2 a do provozu uvedené v roce 1936. Tyto vozy měly provozní rychlost 130 km/h. Unikátnost těchto vozů byla v jejich elektromechanickém pohonu, v té době prvním svého druhu.

Jednou z nejdůležitějších postav historie Tatry je bezpochyby legendární konstruktér Hans Ledwinka. Ten je tvůrcem koncepce podvozku s centrální nosnou rourou, výkyvnými polonápravami a vzduchem chlazeným motorem. Na tomto konceptu stojí Tatra dodnes, což ji dělá unikátní oproti jiným výrobcům nákladních automobilů.



Obr. 2: Tatrovácká koncepce podvozku [8]

Díky tomuto podvozku se může Tatra pyšnit heslem „Tatra vás dostane dál“, jelikož Tatra vždy obstála v těch nejtěžších podmínkách. Velkou výhodou pro firmu je vlastní polygon, kde výrobce může zkoušet a testovat nové verze vozidel. Jedná se nejrozsáhlejší zkušební centrum ve střední Evropě s celkem 21 km testovacích tratí s různými povrchy a překážkami. Sám jsem měl možnost několikrát se po těchto tratích v tatrovkách projet a je opravdu s podivem jaké terény, stoupání nebo boční náklon dokážou tyto stroje zdolat.

V současnosti je nejprodávanějším autem Tatra Phoenix Euro 6. Na tom Tatra spolupracuje s firmou DAF, která dodává kabiny a motory. Podle toho v jakém odvětví zákazník pracuje, se auto dělá ve verzích pro stavebnictví, těžářství, lesnictví nebo zemědělství.



Obr. 3: Tatra Phoenix Euro 6 [9]

3 Systémy údržby

Při tvorbě této kapitoly bylo čerpáno ze zdroje [1]

Pro zajištění provozní spolehlivosti stroje tak, aby daný stroj pracoval efektivně a kvalitně, je potřeba zvolit vhodný systém údržby. Ten se volí s ohledem na složitost stroje a jeho důležitost v provozu.

3.1 Údržba po poruše

Údržba po poruše je jednou z nejstarších údržeb, která se už v dnešní době moc nepoužívá. Má sice nejmenší náklady na údržbu, ovšem při dosažení poruchy, nebo havárie se může oprava daného zařízení značně prodražit, jak na opravě, tak na ušlém zisku firmy z důvodů případného omezení provozního procesu. Proto je tenhle systém možné využívat pouze u nedůležitých strojů, za malé pořizovací náklady a také tam, kde nemůže být ohrožena bezpečnost osob.

3.2 Preventivní údržba

Jedná se o systematické plánování preventivních prohlídek a oprav v daných intervalech (např. odpracované hodiny). Výhodou je plánované odstavení zařízení, které ovšem nezohledňuje technický stav zařízení, ale provádí se podle pokynů výrobce. Může tak dojít k případům, kdy vyměněná součást ještě byla v dobrém stavu, nebo naopak k výměně dojde pozdě, což může mít za následek další závady zařízení.

3.3 Prediktivní údržba

Systém, který zohledňuje technický stav zařízení za pomoci technické diagnostiky. Ta může být využita buď v režimu on-line, nebo off-line. Pořízením diagnostických přístrojů dojde k navýšení nákladů, které se nám v případě vhodného využití v delším časovém horizontu vrátí. Díky znalosti technického stavu zařízení a jeho vývoje, můžeme naplánovat odstávku a obstarat nutné součásti pro výměnu. Tím dochází k eliminaci neplánovaného odstavení provozu a také zmenšení skladovacích zásob náhradních dílů.

3.4 Proaktivní údržba

Proaktivní údržba vychází z prediktivní údržby, kterou navíc zdokonaluje. Nesoustředí se na symptomy stavu zařízení poškození, ale zaměřuje se na příčiny poškození a odstranění těchto příčin.

4 Technická diagnostika

Při tvorbě této kapitoly byly použity zdroje [1], [2], [11]

Je vědní obor, zabývající se různými metodami a postupy, které zjišťují technický stav strojních zařízení a jejich vlastností. Jedná se o soubor preventivních činností. V moderní době je hodně využívána v průmyslových podnicích, ke zvýšení životnosti strojního zařízení a dosažení menších výrobních nákladů.

Pomocí technické diagnostiky:

- Detekujeme vznikající závadu
- Lokalizujeme místo poruchy, nebo vadného dílu
- Určujeme příčinu vzniku
- Prodlužujeme životnost
- Zvyšujeme spolehlivost (eliminaci havarijních výpadků)
- Předvídáme poruchy a plánovitě je odstraňujeme
- Snižujeme ztrátu energie (teplo, tření, vibrace)
- Snižujeme náklady na servis a náhradní díly

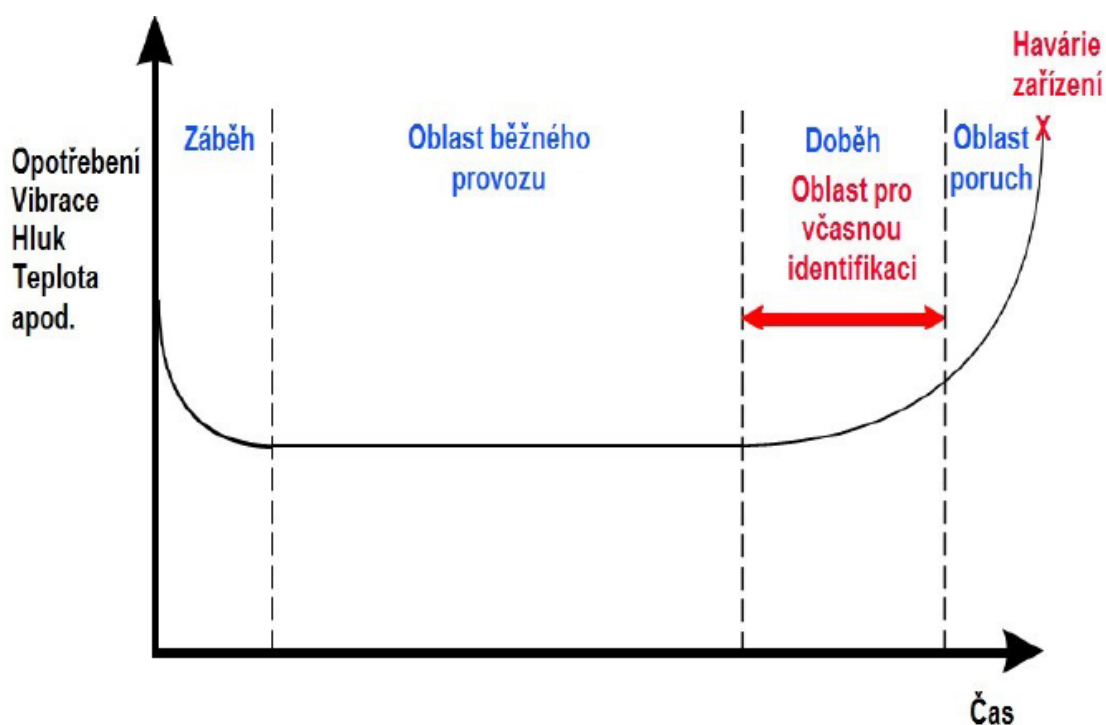
Metody technické diagnostiky

Rozdělení podle oborů:

- **Vibrodiagnostika:** Vyhodnocení technického stavu na základě zaznamenaného vibračního signálu. Hlavními parametry signálu jsou rychlost, zrychlení a výchylka vibrací.
- **Tribodiagnostika:** Zkoumání odebraného vzorku maziva a jeho následným vyhodnocením určení stavu mazaných strojních součástí a kvality daného maziva.
- **Termodiagnostika:** Sledování technického stavu objektu na základě jeho teploty povrchu za pomoci termo kamer, nebo teploměrů.
- **Nedestruktivní diagnostika:** Sledování poruch ve struktuře materiálu (např. pomocí rentgenu nebo ultrazvuku)

Vanová křivka:

Průběh opotřebení strojních součástí v závislosti na čase lze znázornit pomocí vanové křivky. Na ose Y značíme opotřebení, nebo jeho projevy a na ose X časový horizont měření. V první oblasti dochází k většímu opotřebení z důvodu zaběhnutí. Po ustálení záběhového opotřebení dochází k ustálení a dostáváme se do druhé oblasti běžného provozu. Ve třetí doběhové oblasti dochází k postupnému nárůstu opotřebení, které vede až k prudkému nárůstu, v důsledku stárnutí a degradace materiálu. V této oblasti je potřeba pomoci technické diagnostiky identifikovat blížící se poruchu a předejít tak případné havárii.



Obr.4: Vanová křivka [2]

5 Multiparametrická diagnostika

Při tvorbě této kapitoly bylo čerpáno ze zdroje [3]

Pro co nejlepší objektivizaci technického stavu nejen obráběcích strojů, ale i ostatních zařízení, je dobré využívat multiparametrický přístup. Jedná se o využití více metod diagnostiky, jelikož při použití pouze jedné měřící metody se nemusí daná závada projevit.

Cíle multiparametrické diagnostiky v řetězci závislostí:

zvýšení jistoty		zvýšení		zvýšení
určení zbytkové	→	provozní	→	vprojektované
životnosti		spolehlivosti		spolehlivosti

Multiparametrická diagnostika při použití alternativních diagnostických metod

Příkladem tohoto postupu může být diagnostika poškození vnějšího kroužku ložiska. Valivé elementy při průchodu místem poškození vyvolávají opakovaný vibrační signál. Ten se ovšem ve spektru celkových vibrací vybuzených strojem ztrácí, jelikož amplituda signálu je malá a nečitelná.

Proto je důležité použít multiparametrickou diagnostiku pomocí vibrodiagnostických metod:

- ENV AVE: průměrná hodnota obálky
- ENV PEAK: špičková hodnota obálky
- SEE: spektrální emitovaná energie

Multiparametrická diagnostika při využití více metod technické bezdemontážní diagnostiky

V tomto případě se využívá k určování technického stavu zařízení kombinace několika metod technické a bezdemontážní diagnostiky.

Možné kombinace metod:

- Vibrodiagnostika + tribodiagnostika
- Vibrodiagnostika + tribodiagnostika + termodiagnostika
- Vibrodiagnostika + tribodiagnostika + optická defektoskopie
- Vibrodiagnostika + optická defektoskopie

6 Vibrodiagnostika

Pro tvorbu této kapitoly a podkapitol bylo čerpáno ze zdrojů [2], [3], [4], [11]

Vibrační diagnostika je jedna z metod, díky které lze určovat technický stav zařízení, vyhodnocováním jeho vibrací. Jedná se o metodu bezdemontážní, nedestruktivní diagnostiky rotačních strojních zařízení. Tuto metodu lze používat při provozu bez omezení výroby.

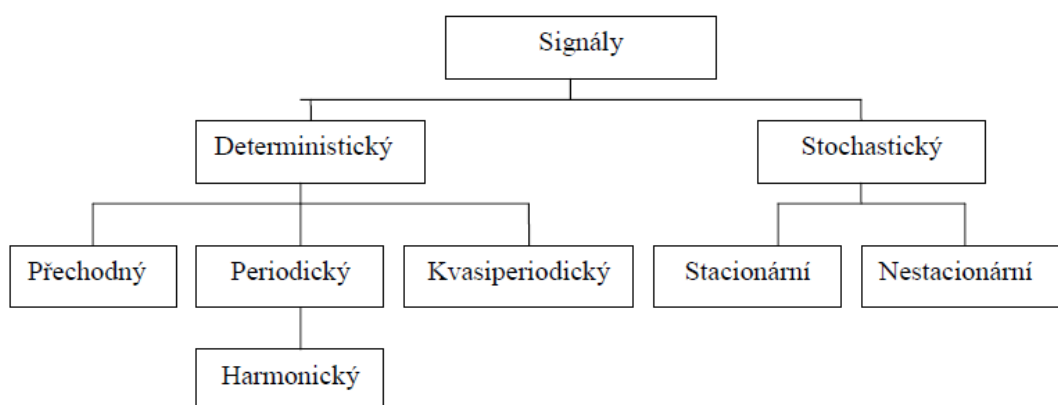
Hlavním úkolem je diagnostikovat technický stav zařízení a s ohledem na toto zjištění naplánovat patřičnou odstávku pro provedení opravy, nebo výměnu poškozené součásti.

Každý stroj, vykonávající rotační pohyb, je doprovázen vibracemi, ty se následně projeví ve frekvenčním spektru amplitudou. Podle druhu závady se tato amplituda projevuje na své specifické frekvenci.

Podle způsobu provádění měření dělíme vibrodiagnostiku na:

- Jednorázovou (zjištění okamžitého stavu)
- Periodickou (ruční měření s danou periodou)
- Kontinuální (on-line, nepřetržité sledování stavu zařízení s přednastavenou ochranou, která hlídá mezní limity)

6.1 Rozdělení signálu



Obr. 5: Rozdělení signálu [3]

Popis signálu:

Deterministický: signál, jehož průběh lze předpovídat.

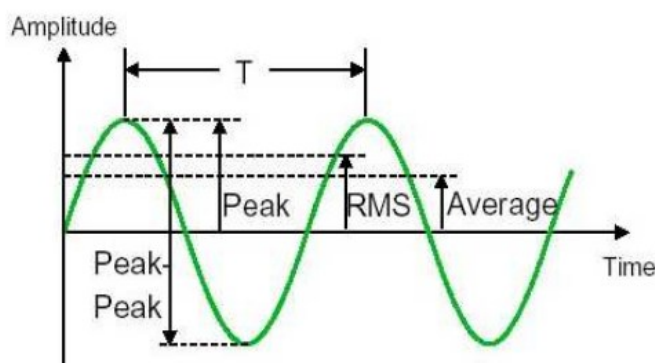
Stochastický: náhodný signál s nepředvídatelným průběhem.

Přechodový: časově omezený signál vybuzen impulsem.

Periodický: složen z harmonických signálů frekvencí, které jsou násobkem základní frekvence.

Kvasiperiodický: složen z harmonických signálů s frekvencemi, které jsou násobky minimálně dvou základních frekvencí se vzájemným poměrem a velikosti rovné iracionálnímu číslu.

Stacionární a nestacionární: ustálený a neustálený charakter v závislosti na čase.

6.2 Veličiny popisující časový signál

Obr. 6: Znáznornění kmitu [8]

- **T:** perioda kmitání
- **Peak-peak:** (špička-špička): největší rozkmit, využití pro hodnocení chvění, kde je závazná výchylka chvění.
- **Peak** (špička): vrcholová hodnota (vzdálenost mezi vrcholem vlny a nulovou úrovní), jedná se o amplitudu krátkodobých jevů, mechanických rázů.
- **RMS** (Root Mean square): efektivní hodnota která zobrazuje časový průběh a je měřítkem nebezpečnosti a škodlivosti mechanického kmitání. Jedná se o nejdůležitější hodnotu
- **Avarage:** průměrná střední hodnota časového průběhu sledovaného chvění.

6.3 Snímače vibrací

Snímače vibrací pracují na principu převedení mechanického kmitání na elektrický signál. Snímačů je několik druhů, proto je důležité pro měření použít správný typ, který určujeme podle měřené veličiny vibrací (výchylka, rychlost, zrychlení).

6.3.1 Rozdělení snímačů

Dva základní typy snímačů:

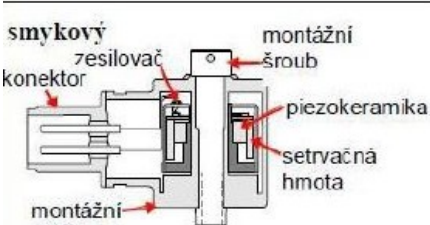

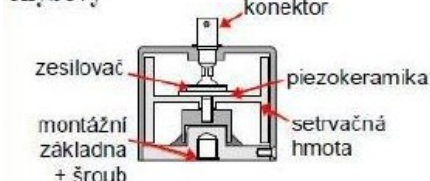
Seismická zařízení: Výstupem je míra absolutních vibrací

Snímače relativní výchylky: Měří vibrační výchylku a střední polohu mezi rotujícími a nerotujícími částmi.

Akcelometry:

Jedná se o nejrozšířenější snímač díky své schopnosti měřit více veličin (rychlost, zrychlení, výchylka). Akcelometr je seismické zařízení, generující výstupní signál úměrný mechanickému zrychlení a montuje se na nerotující části zařízení. Typický akcelometr obsahuje alespoň jeden piezoelektrický krystal, vytvářející elektrický náboj, který je úměrný působící síle.

Akcelometry můžeme rozdělit podle směru působící síly na smykové, tlakové, ohybové.

Typ akcelometru	výhody	nevýhody
smykový 	široký frekvenční rozsah relativně odolný nízký teplotní vliv	menší citlivost
tlakový 	široký frekvenční rozsah odolný na rázy	náchylný na teplotní vlivy náchylný na deformaci základny
ohybový 	měří velmi nízké frekvence má velmi vysokou citlivost	křehký, citlivý na rázy

Obr. 7: Typy konstrukcí akcelometru [11]

Snímače zrychlení:

Seismické zařízení, generující napěťový signál úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Snímač obsahuje cívku, která kmitá vlivem vibrací v poli permanentního magnetu. V dnešní době už se moc nepoužívají, místo nich se raději pro měření volí akcelerometr.

Snímače výchylky:

Snímače měří výchylku díky, které zjistíme amplitudu vibrací. Nejčastěji se používá bezdotyková sonda, která pracuje na principu vířivých proudů. Cívka vytváří vysokofrekvenční magnetické pole vyzařované na elektricky vodivý materiál (hřídle). V materiálu jsou generovány vířivé proudy, které odebírají energii z vysokofrekvenčního magnetického pole.

Použití u velkých rotačních strojů, kde hmotnost nosné konstrukce je velká, ve srovnání s hmotností rotoru.

6.3.2 Připevnění snímačů

Pro správné měření vibrací strojů je důležité zajistit správný přenos pohybu na snímače. Proto je důležité dbát na vhodný způsob upevnění snímačů, který závisí na přístupnosti, vhodnosti, ekonomické a technické úvaze.

Způsob uchycení výrazně ovlivňuje frekvenční odezvu snímače a tím jeho výkonost. Nejvhodnější je způsob upevnění snímačů pomocí závrtných šroubů s vrstvou silikonové vazelíny mezi styčnými plochami spoje. Dále je efektivní využití speciálních lepidel, nebo včelích vosků.

Tab. 1: Vliv připevnění na snímače vibrací [2]

Metoda připevnění	Vliv na výkonnost snímače (např. snímače s rezonancí 30 kHz)
Pevný šroubový spoj	Žádné snížení rezonanční frekvence akcelerometru v důsledku připevnění
Izolovaný šroubový spoj	Pokud je pro zabránění vzniku zemních smyček a jiných vlivů použit tuhý nevodivý materiál, jako je podložka ze slídy, montážní rezonanční frekvence je mírně snížena asi na 28 kHz.
Přilepení tuhým lepidlem	Rezonance je snížena asi na 28 kHz
Přilepení měkkým epoxidem	Rezonance je snížena asi na 8 kHz
Připevnění permanentním magnetem	Rezonance je snížena asi na 7 kHz
Ruční sonda se snímačem	Rezonance je snížena asi na 2 kHz, ale tato metoda není doporučena pro měření nad 1kHz.

6.4 Analýza vibrací

Vyhodnocení časového signálu veličin, jako jsou rychlost, zrychlení a výchylka. Pomocí střední a efektivní hodnoty v časovém průběhu, nebo obálce, dokážeme popsat vlastnosti signálu. Při analýze časových signálů se používá frekvenční analýza, která nám dá více informací o technickém stavu zařízení.

Časové signály se převádí pomocí Fourierovy transformace (FFT).

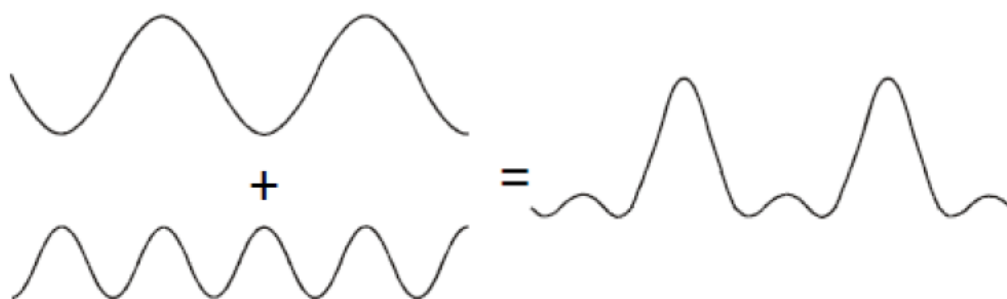
- **Časová oblast**

Dochází k vyhodnocení celkového kmitání, nebo časového průběhu signálu. Hodnota naměřeného kmitání se dále porovnává s hodnotou stroje z období, kdy byl stroj v pořádku. Tato metoda nám ovšem nedokáže zjistit příčinu kmitání.

- **Frekvenční analýza**

Tato metoda se využívá k diagnostice rotačních strojů (s periodickým pracovním cyklem). FFT provádí rozklad původního časového průběhu na sinusové signály, které mají příslušnou amplitudu a počáteční fázi. Tím dochází k zobrazení periodických jevů, které se zobrazí ve frekvenčním spektru a vibračnímu signálu přiřadí patřičnou frekvenci (jednotlivé děje jsou od sebe odděleny). Díky frekvenčnímu rozkladu lze přesněji identifikovat technický stav stroje.

Každou periodickou křivku lze určit jako součet sinusových křivek, jedná se o harmonické složky daného průběhu signálu.



Obr. 8: Součet dvou harmonických signálů [4]

- **Obálková metoda**

Nejčastěji používaná metoda pro určování stavu ozubených kol a ložisek. Vibrační signál se projevuje nižší amplitudou a vyšší frekvencí, oproti vibračnímu signálu, buzeného otáčkami, nebo konstrukcí. Tato metoda nám umožňuje lokalizovat, která část ložiska jeví poškození. Využívá se zachycení malých impulsů, které jsou vyvolány např. odvalením valivých těles po narušené dráze ložiska, která se projeví na dané frekvenci závady.

- **Kepstrální analýza**

Jedná se o metodu, která hledá periodické děje ve frekvenčním spektru a opakující se rozdíly postranních frekvenčních čar. Používá se v případech, kdy frekvenční spektrum má několik nosných frekvencí s bočními pásmy. Tato metoda se používá pro diagnostiku převodovek a ozubení, určením amplitudové a frekvenční modulace.

Díky této metodě lze zjistit boční opotřebení zubů a identifikovat celé vylomené zuby.

6.5 Diagnostika závad

Analýzováním naměřených dat vibrací diagnostikujeme závady stroje, které se mohou projevovat zvýšením hluku, vibrací a teploty. Při diagnostikování místa problému je potřeba znát, na jaké frekvenci se dané závady projevují.

Rozdělení frekvencí:

- Otáčková frekvence
- Poruchová frekvence vnitřního kroužku ložiska
- Poruchová frekvence vnějšího kroužku ložiska
- Poruchová frekvence valivého segmentu ložiska
- Poruchová frekvence klece ložiska
- Zubová frekvence

6.5.1 Poškození valivého ložiska

Stejně jako u většiny strojů, tak i u obráběcích zařízení jsou důležitou součástí valivá ložiska. Jedná se o jednu z nejpreciznějších částí stroje díky svým nízkým tolerancím. Pouze cca 10-20% ložisek dosahuje své předepsané životnosti z důvodu působení různých faktorů ovlivňující jejich životnost.

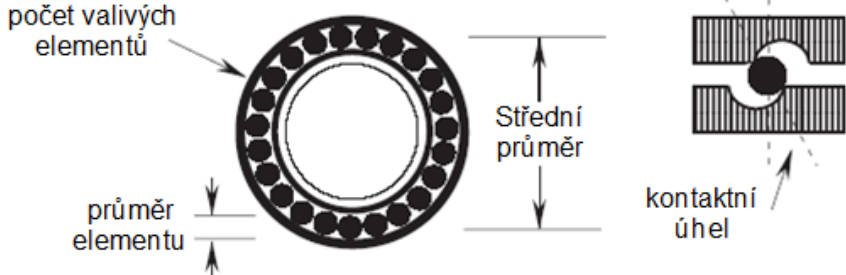
Mezi tyto faktory patří např. použití špatného maziva, nedokonalé mazání, znečištěné mazivo, vniknutí vlhkosti, falešné brinelování (otisknutí valivých elementů do dráhy), použití nevhodného ložiska pro daný účel, nebo špatná montáž (nesouosost, nevyváženost, volba špatného nářadí).

Dalším ovlivňujícím faktorem životnosti ložiska jsou nadměrné vibrace a vysoké dynamické zatížení, které se mohou přenášet na ložisko. Jedna z nejčastějších závad je pitting, neboli vydrolování, ke kterému dochází z důvodu povrchové únavy a cyklicky smykového zatěžování. V počáteční fázi se tvoří trhliny, které se postupně šíří k povrchu. Při přechodu valivých elementů přes tyto trhliny dochází k odlupování částech materiálu.

Frekvence ložiskových závad

Pomocí vibrodiagnostiky lze zjistit, kde se konkrétně na valivém ložisku nachází porucha. To je možné díky odvozeným rovnic, které definují frekvence daných poruch.

Poruchové frekvence valivého ložiska



$$\begin{aligned} \text{Poškození vnějšího kroužku (BPFI)} &= \frac{n}{2} \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \vartheta \right) \\ \text{Poškození vnitřního kroužku (BPFO)} &= \frac{n}{2} \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \vartheta \right) \\ \text{Poškození valivých elementů (BSF)} &= \frac{P_d}{2B_d} \frac{\text{RPM}}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cos^2 \vartheta \right] \\ \text{Poškození klece (FTF)} &= \frac{1}{2} \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \vartheta \right) \end{aligned}$$

P_d = střední průměr n = počet valivých elementů
 B_d = průměr val. elementu ϑ = kontaktní úhel
 RPM = otáčky hřídele [1/min]

Obr. 9: Poruchové frekvence valivého ložiska [3]

Fáze poškození ložiska

- **První fáze poškození ložiska**

Při první indikaci ložisek se projevuje v ultrazvukovém frekvenčním pásmu (od 250 kHz do 350 kHz).

- **Druhá fáze poškození ložiska**

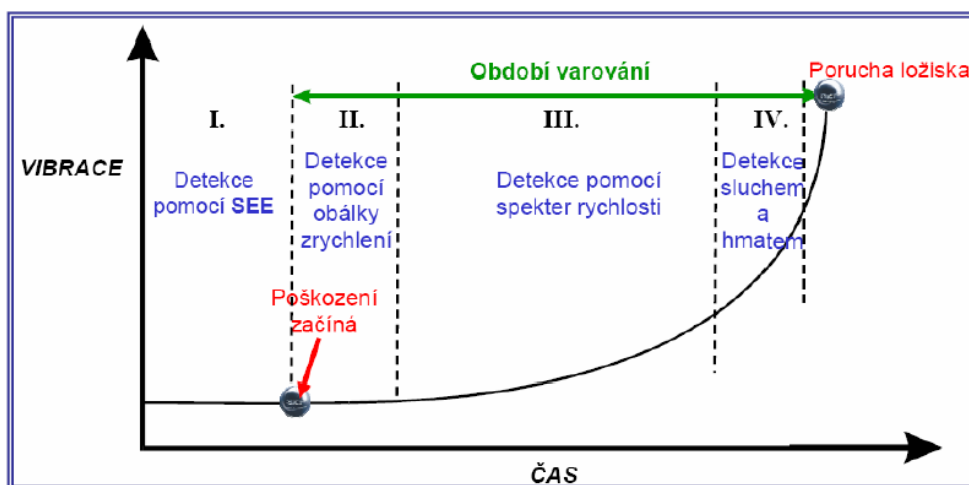
V této fázi se tvoří malé poškození ložiska, které budí vlastní frekvence komponent ložiska v oblasti 500 Hz až 2kHz. Kolem rezonanční špičky se objevují postranní pásma. Tuhle fázi lze zjistit pomocí obálkových spekter vysokých frekvencí.

- **Třetí fáze poškození ložiska**

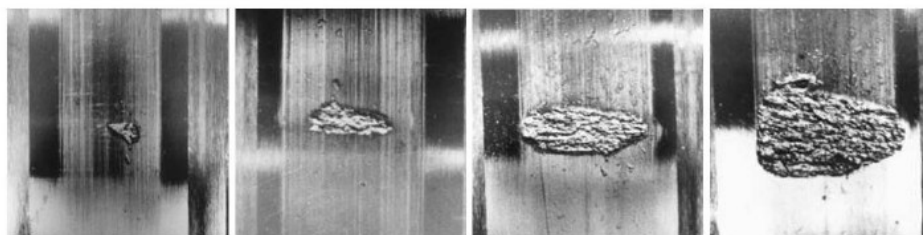
Při narůstajícím poškození se objevuje více harmonických násobků frekvencí ložiskových závad a narůstá počet postranních pásem, kolem ložiskových frekvencí, ale také kolem vlastních frekvencí ložiska. Tuto fázi je možné zjistit ze spekter rychlosti vibrací.

- **Čtvrtá fáze poškození ložiska**

Dochází ke kritickému poškození ložiska případně k jeho havárii.



Obr. 10: Vývoj poškození valivého ložiska [12]



Obr. 11: Postupné poškození valivého ložiska [12]

6.5.2 Nevyváženost

Jedna z nejčastějších závad, která může být způsobena při výrobě zařízení, nesouměrně umístěnou hmotou mimo osu rotace. Dochází k mechanickému kmitání, způsobující velké dynamické namáhání, které má za následek zkrácení životnosti celého soustrojí. Cílem vyvažování je přiblížit osu těžiště co nejvíce k ose rotace a tím omezit setrvačné síly.

Nevyváženost způsobuje:

- Snížení trvanlivosti ložisek
- Zvýšení dynamického namáhání rotoru
- Možné způsobení kolize statoru s rotorem
- Ohrožení funkce stroje

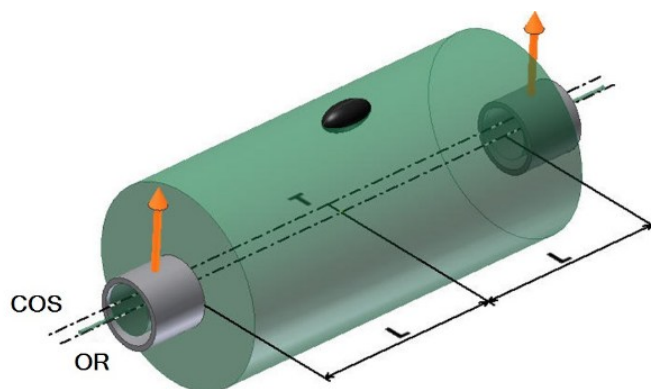
Příčiny nevyváženosti:

- Konstrukční
- Technologické (nehomogenita materiálu)
- Výrobní (např. u rotačních strojů nutnost dodržení tolerance házivosti)
- Montážní (nejčastěji u skládaných rotorů)

Druhy nevyváženosti:

Statická nevyváženost

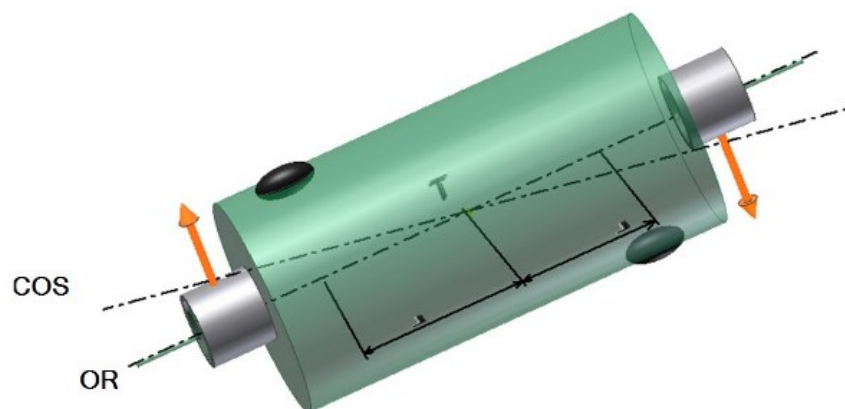
Působení pouze jedné síly. Centrální osa setrvačnosti je paralelně posunuta vůči ose rotace. Při klidovém stavu se nejtěžší bod otočí na nejnížší polohu (např. kolo bicyklu se ustálí ventilkem dolů). Amplituda se projeví v radiálním směru u obou ložisek. Vyvažování probíhá v jedné vyvažovací rovině.



Obr. 12: Statická nevyváženost [2]

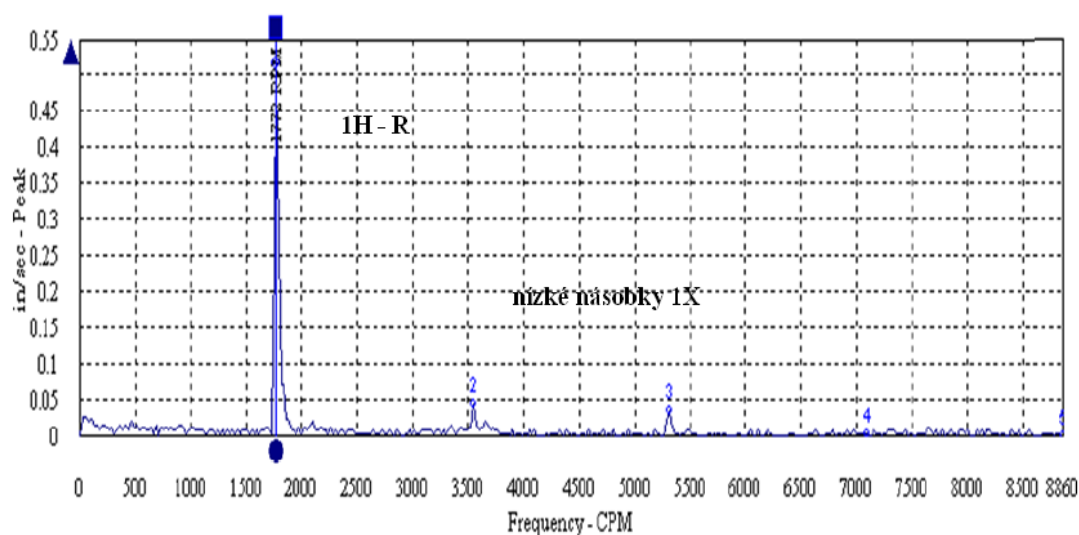
Momentová nevyváženost

Osa rotace a centrální osa setrvačnosti jsou různoběžné a protínají se v těžišti rotoru. Momentovou nevyváženost nelze zjistit v klidovém stavu, projevuje se až při pohybu.



Obr. 13: Momentová nevyváženost [2]

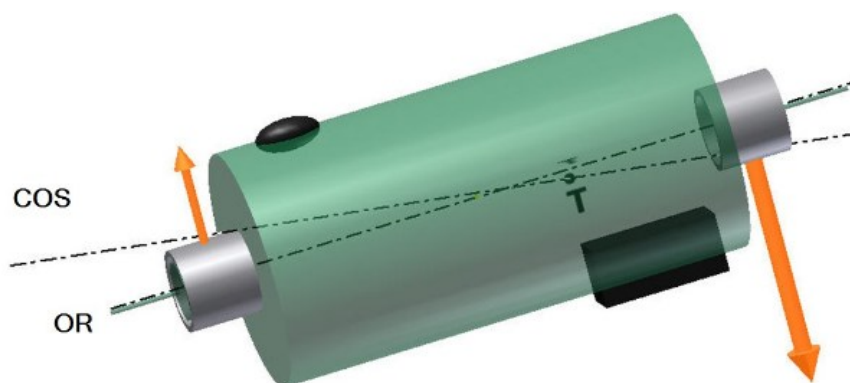
Statická i momentová nevyváženost se projevuje ve vibračním spektru na první harmonické složce, která bývá většinou dominantní.



Obr. 14: Spektrum vibrací pro statickou a momentovou nevyváženost [11]

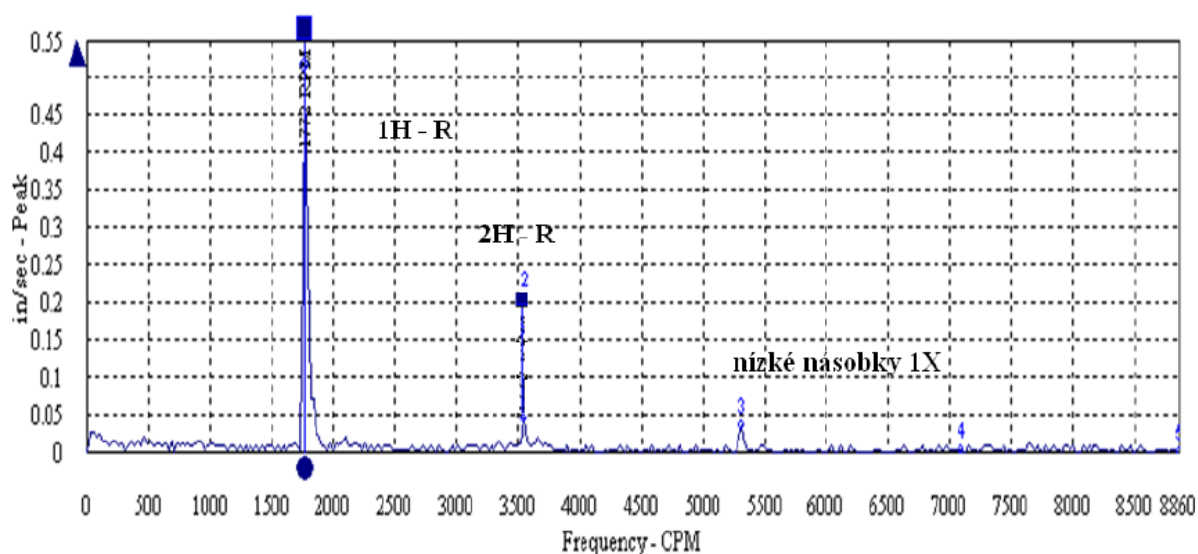
Dynamická nevyváženost

V praxi nejčastější případ nevyváženosti. Jedná se o kombinaci statické a momentové nevyváženosti. Podobně jako u momentové nevyváženosti, i zde jsou osy mimoběžné, ale neprotínají se v těžišti. Při vyvažování se řeší první statická nevyváženost a následně momentová nevyváženost, která se musí provádět v několika rovinách.



Obr. 15: Dynamická nevyváženost [2]

Při vyvažování se řeší jako první statická nevyváženost a následně momentová, která se musí provádět v několika rovinách. Dominantní amplituda otáčkové frekvence a fázový rozdíl v horizontálním směru mezi vnějším a vnitřním ložiskem může být od 0 do 180°. Případné vytvoření amplitudy na druhém násobku otáčkové frekvence značí velkou nevyváženost.



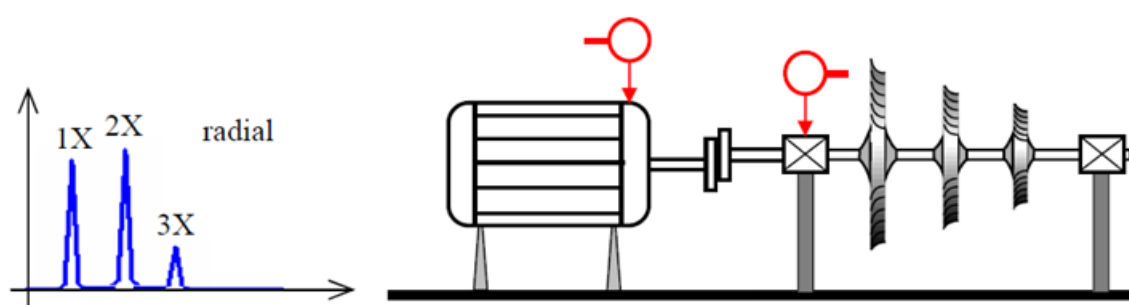
Obr. 16: Typické spektrum vibrací pro dynamickou nevyváženost[11]

6.5.3 Nesouosost

Nesouosost je zapříčiněna špatným ustavením, kdy dva rotory nemají totožnou osu rotace. Nesprávné ustavení má za následek vynucené síly a kmity, které namáhají spojku hřídele a ložiska. Jedná se o druhou nejčastější závadu.

Rovnoběžná nesouosost

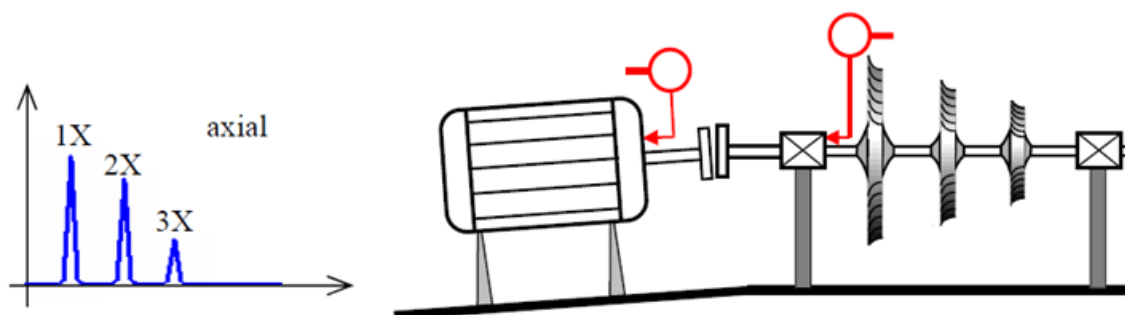
Vzniká paralelním přesazením os, které způsobuje velké radiální vibrace. Ve frekvenčním spektru bývá druhý harmonický násobek větší než otáčková složka.



Obr. 17: Rovnoběžná nesouosost a její projev ve frekvenčním spektru [11]

Úhlová nesouosost

Tento případ nastává, jsou-li osy hřídelů různoběžné, dochází k jejich protnutí a tím k působení velkých axiálních vibrací. Ve frekvenčním spektru se může projevit na první, druhé nebo také třetí harmonické frekvenci.



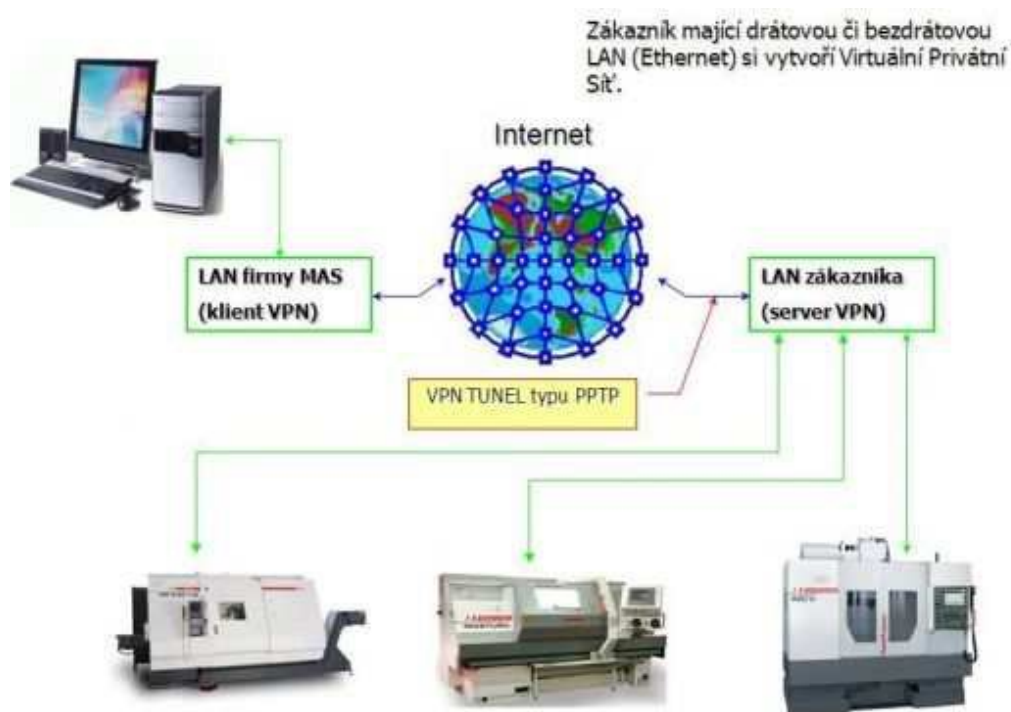
Obr. 18: Úhlová nesouosost a její projev ve frekvenčním spektru [11]

7 Online diagnostika (dálková diagnostika)

Dnešní požadavky na obráběcí stroje nejsou soustředěny pouze na rychlost, přesnost obrábění a množství obráběcích funkcí, ale klade se důraz na kvalitu a spolehlivost výrobního stroje, což obnáší včasnou diagnostiku poruch a rychlost oprav po poruše.

Dálková diagnostika je nejúčinnější metodou k určování technického stavu zařízení. Jedná se o neustále monitorování stroje při práci. Díky tomuto systému je možné odkudkoli sledovat stav daného stroje. To se může hodit pro sledování těžko dostupného stroje, nebo pokud má monitoring stavu zařízení na starost externí firma (v tomto případě se jedná o outsourcing). Diagnostik má pomocí komunikačního softwaru přístup k obrazovce a menu řídicího systému obráběcího stroje. Komunikační software není schopen žádných diagnostických funkcí. Diagnostikovi pouze umožňuje využívat na dálku diagnostické funkce daného řídicího systému. Diagnostik je schopen na dálku lokalizovat závadu a informovat o jejím vzniku obsluhu stroje pomocí komunikačního softwaru.

Online systémy jsou schopny díky alarmu, který je závislý na předem stanovené kritické hodnoty sledovaných veličin monitorovat provoz zařízení a v případě překročení těchto mezních hodnot reagovat. Systém je schopen pomocí alarmu upozornit obsluhu, aby byl provoz zastaven, nebo dokáže zařízení rovnou sám odstavit.



Obr. 19: Schéma on-line diagnostického systému [4]

8 Tribodiagnostika

Pro tvorbu této kapitoly a podkapitol bylo čerpáno ze zdrojů [2],[7]

Jedná se o jednu z metod technické bezdemontážní diagnostiky. Tato metoda spočívá ve zkoumání maziv a na základě výsledků se vyhodnocuje stav maziva a strojního zařízení.

Při práci strojního zařízení dochází k opotřebování a tím uvolňování částic kovů, nebo jejich sloučenin. Tyto částice jsou olejem vyplavovány z třecích míst a následně cirkulují s olejem v mazací soustavě. Při rostoucím opotřebením se zákonitě také zvyšuje koncentrace těchto příměsí v oleji. Cílem této metody je zjistit, vyhodnotit a oznámit výskyt cizích částic v oleji, jak z hlediska kvalitativního, tak kvantitativního.

Na základě výsledků provedených zkoušek je možné včasné upozornit na vznikající poruchy a v mnoha případech i lokalizovat místo vzniku mechanické závady.

8.1 Rozdělení metod tribodiagnostiky:

S ohledem na plnění úkolu rozdělujeme Tribodiagnostiku do dvou skupin:

1) Sledování degradace samotného maziva

Jedná se o hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva, proto je důležité rozlišovat oleje motorové a průmyslové.

Rozdělení podle aplikace testů:

- Kapková zkouška
- Obsah vody
- Kinetická viskozita
- Číslo celkové alkality a kyselosti
- Mechanické nečistoty
- Bod vzplanutí
- Celkové znečištění
- Conradsonův karbonizační zbytek

2) Sledování stavu opotřebením strojních zařízení:

- Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů:
 - Atomová spektrofotometrie
 - Atomová emisní spektrofotometrie
 - Atomová absorpční spektrofotometrie
 - Polarografie a voltametrie
 - Metoda RAMO

- Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic kovů:
 - Částicová analýza, neboli ferografie s vyhodnocením:
 - Feroskopickým (morfologie a chemické složení)
 - Ferodenzimetrickým (distribuce vzhledem k velikosti)

8.2 Odběr vzorků oleje pro analýzu

Odebraný vzorek oleje by měl obsahovat průměrné složení používaného maziva ve strojním zařízení. Je vhodné, aby odběr vzorků prováděla jedna osoba, která je náležitě proškolená. Popřípadě musí být vypracovaný pracovní postup a určena jedna metodika pro odběr. Pro odběr vzorků existuje více možností podle ČSN. Jedna z takových norem je ČSN 65 6207, která je nejpřesnější a pracovně náročná. Využívá se pro odběr hydraulických kapalin, u kterých je nutné dbát zvýšené pozornosti na množství a velikosti nečistot.

Z důvodu dokonalého promíchání a zahřátí oleje na provozní teplotu je nutné, aby byl stroj aspoň 20 minut v provozu. Nejdříve odebere 500 ml oleje do čisté nádoby a následně se vylije zase zpět do zařízení. Tím dojde k propláchnutí odběrného zařízení. Samotný odběr se provádí do čisté a suché vzorkovnice o objemu 300 ml, do které se odebere 200 - 250 ml oleje.

Po odebrání potřebného množství oleje je důležité danou vzorkovnici náležitě popsat, aby v laboratoři měli potřebné údaje.

Tab. 2: označení vzorkovnice

Název Stroje	
Mazané místo	
Druh maziva	
Datum odběru	
Kdo odebral	
Požadované rozbor	

V následující části budou popsány prováděné zkoušky testovaných vzorků olejů.

8.3 Obsah vody

Přítomnost vody v oleji nám znehodnocuje jeho kvalitu a proto je nežádoucí. Voda v oleji nám může způsobit nebo podporovat:

- Pěnění oleje
- Zvyšování viskozity
- Korozi součástí
- Vypadávání aditivů
- Tvorbu emulze
- Tvorbu kalů

Tuto zkoušku lze rozdělit na dvě etapy. Jako první se zjišťuje, jestli je přítomna voda v oleji. To lze jednoduše provést buď vizuální kontrolou (zakalení protřepaného oleje), nebo prskací zkouškou, kdy se na rozpálenou podložku nanese malé množství oleje. Při přítomnosti vody se začnou tvořit bublinky a dochází k prskání.

Při zjištění přítomnosti vody v oleji se přistupuje k druhé etapě, kde se zjišťuje daná koncentrace vody v oleji.

Pro určení obsahu vody v oleji byla použita coulometrická metoda. Tato metoda je přesná a dokáže určit i malé stopové množství vody. Princip této zkoušky spočívá v reakci vody s jodem. Jód J_2 v titrační nádobce při průchodu proudu reaguje s vodou. Jeden mol jódu reaguje s jedním molem vody, takže 1 mg vody je ekvivalentní 10,71 A.s. Po skončení vyhodnocování se do přístroje zadá hmotnost navážky oleje, který byl do coulometru aplikován a přístroj nám vypočítá obsah vody v procentech.



Obr. 20: coulometr na měření obsahu vody

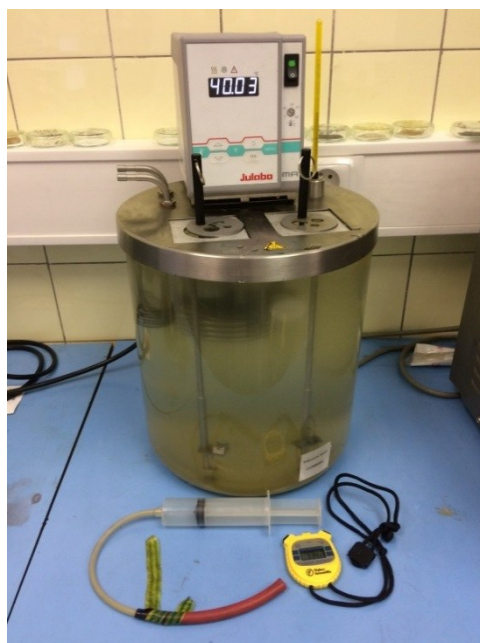
8.4 Kinematická viskozita

Kinematická viskozita je jedním ze základních parametrů olejů, která charakterizuje mazivost a slouží k vzájemnému třídění. Kinematická viskozita nám dává na vědomí míru vnitřního tření a tím velikost odporu kapaliny proti pohybu.

Velikost viskozity se může měnit dvěma směry:

- **Zvýšení viskozity:** důvodem je znečištění, nebo meziprodukty oxidační povahy. Způsobuje vyšší energetické ztráty z důvodu zvýšení koeficientu tření.
- **Snížení viskozity:** způsobeno především tepelnou a mechanickou degradací aditiv. Při nízké viskozitě dochází k meznímu až suchému tření, které může vést až k zadření třecích ploch.

Měření kinematické viskozity v diplomové práci bylo provedeno pomocí kapilárního viskozimetru. Jako první jsem naplnil potřebné množství oleje do viskozimetru. Následně dochází k temperaci při teplotě 40°C v temperační lázni, ve které se viskozimetr nachází. Po uplynutí předepsané doby 30 minut jsem následně podtlakem vytáhl olej do potřebné výšky nad horní rysku. Poté, co začal olej klesat, jsem v momentě, kdy prošel horní ryskou spustil stopky a měřil tak čas, dokud olej nespádl na dolní rysku. Tohle měření trvalo přes 7 minut. Vyhodnocování se provádí převedením času na vteřiny a vynásobením tohoto času viskozitní konstantou viskozimetru. Tato metoda je docela časově náročná, potřebný čas na vyhodnocení viskozity trvá okolo 45 minut.



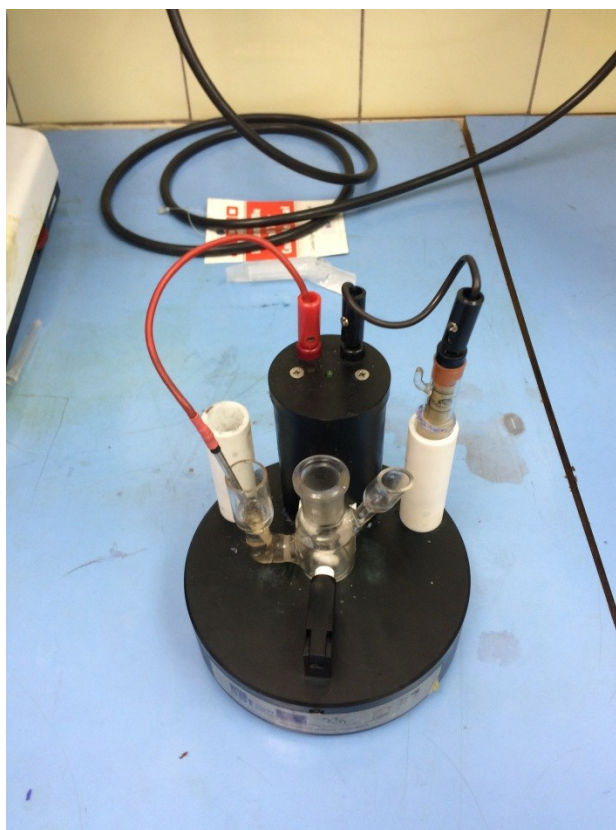
Obr. 21: Kapilární viskozimetr ponořený v temperační lázni

8.5 Číslo kyselosti

Změna kyselosti je spojena se stárnutím a degradací oleje. Při zvýšení čísla kyselosti dochází k vyšší korozivnosti oleje. Číslo kyselosti je jediný ukazatel postihující stárnutí průmyslových olejů, proto je důležité věnovat tomu patřičnou pozornost. Číslo kyselosti nám udává, kolik je potřeba dodat [mg] hydroxidu draselného (KOH) do 1g oleje tak, aby došlo k odstranění kyselých složek, které jsou obsaženy v oleji.

Stanovení čísla kyselosti

Metoda je založená na coulometrické titraci kyselých sloučenin obsahujících se ve vzorku oleje v alkoholickém roztoku hydroxidu draselného (KOH). Tato metoda probíhá aplikací malého množství homogenizovaného oleje do připraveného roztoku. Coulometr je připojen k počítači, kde sledujeme jaké množství KOH je potřeba k neutralizaci všech kyselých složek v oleji. Do programu v počítači se zadává hmotnost použité navážky a poté program vyhodnotí celkové číslo kyselosti v mgKOH/g. Pro jeden vzorek oleje se provede tohle měření 3x a následně se zprůměruje výsledná hodnota celkové kyselosti.



Obr. 22: Coulometr na měření kyselosti

8.6 Kód čistoty

Tato zkouška slouží ke zjištění počtu pevných částic (nečistot) a jejich velikosti obsažených v oleji. Přes filtrační zařízení necháme protéct 25 ml oleje smíchaného s technickým benzínem. Následně se vyhodnocuje kód čistoty pomocí mikrometru, který je připojen na počítač. Přes software Lambdasoft od společnosti Diram s.r.o, se udělá potřebný počet snímků, které je třeba manuálně zaostřit, aby počítač rozpoznal dané částice. Minimální počet snímků je 30, ale doporučuje se více. Po nasnímkování se fotky ještě upraví, popřípadě se nevhodné smažou. Následně se spustí výpočet a software nám spočítá výsledný kód čistoty. Výsledná třída čistoty nám vyjde podle zvolené normy. Norma ČSN ISO 4406 nám dá 3 hodnoty. První hodnota nám udává počet nečistot větších jak 4 μm , druhá hodnota počet částic větších jak 6 μm a třetí počet částic větších jak 14 μm . V případě zvolení normy NAS1638 vyjde pouze jedna hodnota, která nám udává celkové znečištění v určitém rozmezí počtu nečistot v [μm].



Obr. 23: Mikroskop pro určení kódu čistoty

8.7 Spektrální analýza

Tato metoda využívá infračervenou spektrometrii pro spektrální analýzu olejů. Jedná se o optickou nedestruktivní analytickou metodu, kterou řadíme do skupiny metod molekulové spektrometrie. Principem je interakce infračerveného záření s molekulami, nebo charakteristickými skupinami molekul, které se vybudí na vyšší vibrační vlny. Tím dochází k pohlčení záření s určitými hodnotami energie, které se projeví ve spektru, jako vibrační absorpční pásy, díky kterým lze identifikovat většinu sloučenin. Dokáže nám určit obsahy oxidačních, nitracních a sulfatačních produktů, úbytky přísad a glykolů.

V dnešní době se nejvíce využívá spektrometrie pomocí Fourierovy transformace (FT-IR). Výhodou této metody je vysoká citlivost s vyšším průchodem energie a hodně vyšším poměrem signálu k šumu.

Metoda není časově náročná, spočívá v nanesení malého množství oleje na krystal selenidu zinečnatého (ZnSe). Dochází k odražení záření uvnitř krystalu a pronikání do hloubky 1-2 μm vzorku.



Obr. 24: Infračervený spektrometr



Obr. 25: Krystal ZnSe

8.8 Rentgenová spektrometrie

Jedná se o spolehlivou, nedestruktivní metodu, která využívá energo disperzivní rentgenovou fluorescenční technologii (ED-XRF). Rentgenová spektrometrie je jedna z nejjednodušších a nejpřesnějších analytických metod ke zjištění chemického složení materiálu. Tuto metodu lze použít pro kapalné, pevné i sypké látky. Díky danému přístroji jsme schopni detekovat celou řadu chemických prvků, od sodíku až po uran. Možné využití pro analýzu olejů, paliv, pryže, plastů, minerálů nebo také kosmetiky, využití je hodně široké.

Do přístroje se vloží malý vzorek oleje a poté už se jen čeká na výsledek přibližně 20 minut. Princip spočívá ve vybuzení atomu daného vzorku rentgenovým zářením, vyzářeným z rentgenové lampy. Všechny prvky specifických RTG fluorescenčních signálů, emitovaných atomy po fotoelektrické ionizaci jsou změřeny v pevném polovodičovém detektoru, nebo plynotěsném proporcionálním čítači. Intenzita radiace každého signálu prvků, které jsou úměrně ke koncentraci prvků ve vzorku, se díky uložené sadě kalibračních křivek interně přepočítávají a jsou schopny se zobrazit v jednotkách koncentrace.



Obr. 26: Rentgenový spektrometr SOECTRI XEPOS

9 Aplikace vibrodiagnostiky

V rámci diplomové práce bylo provedeno měření vibrací na pěti obráběcích centrech. Na těchto CNC strojích jsem vibrace měřil na vřetenech strojů.

Měření muselo být prováděno se zavřenými bezpečnostními dveřmi, z bezpečnostních důvodů. Dnešní CNC stroje jsou většinou naprogramovány tak, že při otevřených bezpečnostních dveřích stroj nerozjede obráběcí program. Z tohoto důvodu jsem musel analyzátor umístit do obráběcí místnosti. Z důvodu umístění analyzátoru v obráběcí místnosti bylo prováděno měření pouze s upnutým nástrojem bez obrábění. Jako první bylo potřeba očistit vřeteno od špon, tak aby nedocházelo k ovlivnění měření. Následně jsem umístil tři magnetické snímače ve směru horizontálním, vertikálním a axiálním. Pak jsem odstartoval měření, zavřel dveře a poprosil obsluhu o zapnutí stroje na domluvené otáčky.

9.1 Analyzátor Adash A4410 VA4 Pro

Pro měření vibrací byl použit 4 kanálový Analyzátor Adash A4410 VA4. Tento měřicí přístroj obsahuje moduly rekordéru, datakolektoru a analyzátoru měřených signálů. Díky tomuto přístroji jsme mimo jiné také schopni vyvažovat stroje, provést měření ultrazvuku, rozběhů a doběhů, rázové testy a další.



Obr. 27: Analyzátor adash A4410 VA4 Pro [13]

Zpracování záznamu vibrací bylo provedeno na počítači pomocí programu A4410 Virtual Unit.



Obr. 28: Software Virtual Unit VA4 Pro

Mezní hodnoty vibrací

Vyhodnocení měření bylo provedeno podle normy ČSN 20 0065 pro obráběcí centra a bezobslužné obráběcí stroje pro nerotační součásti

Tab. 3: Mezní hodnoty kmitání pro stroje s kuželovou dutinou ve vřetenu

Dutina	Do 50	Nad 50
Mezní hodnoty rychlosti vibrací	1,12	1,8

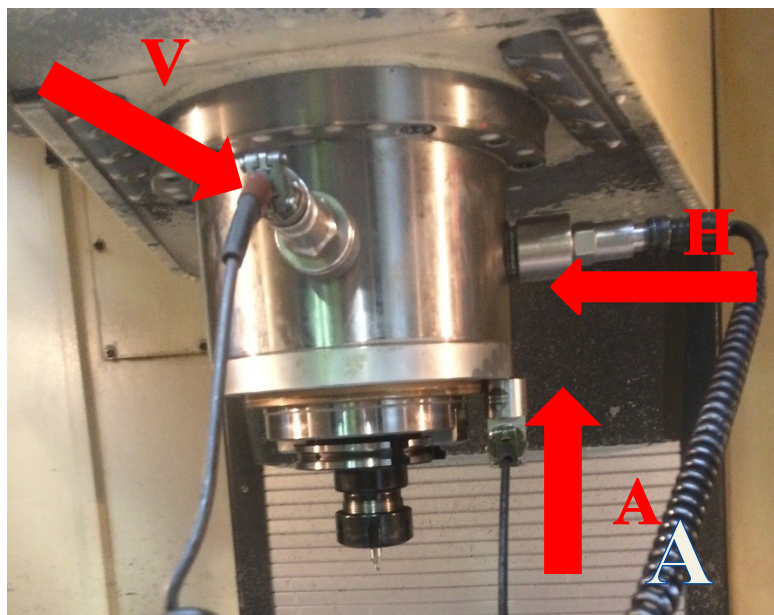
Měřené stroje měly dutinu nad 50 mm, proto měření nesmí přesáhnout hodnotu 1,8 mm/s.

Tab. 4: Mezní hodnoty zrychlení vibrací a_{RMS} [g] pro obráběcí centra s ohledem na měřené otáčky

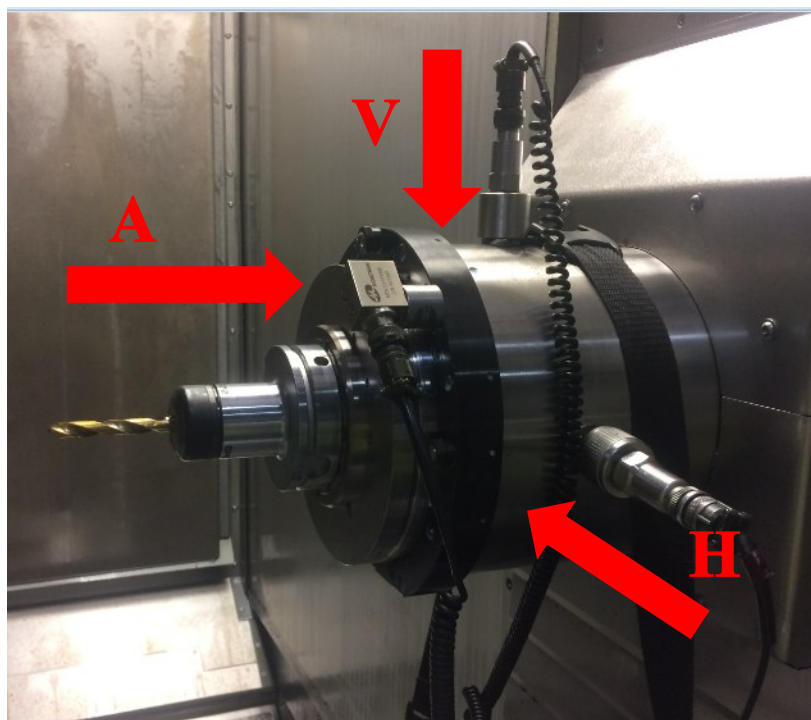
Výstraha	>1,5
Nedoporučuje se trvale provozovat	>3

9.2 Umístění snímačů

Pro měření vibrací byly použity magnetické snímače. Měření bylo provedeno na dvou CNC strojích se svislou osou obrábění a třech CNC strojích s vodorovnou osou obrábění. Snímače byly umístěny ve třech směrech 1) H-horizontální, 2) V-vertikální, 3) A- axiální. Umístění jednotlivých snímačů je popsáno na následujících obrázcích.



Obr. 29: Umístění snímačů na CNC se svislou osou obrábění



Obr. 30: Umístění snímačů na CNC s vodorovnou osou obrábění

10 Zpracované měření a rozborů olejů:

V předchozích kapitolách byly popsány metody a postupy technické diagnostiky použity při vypracování praktické části diplomové práce. V této kapitole budou provedeny vyhodnocení výsledků měření vibrací a rozborů olejů.

10.1 Referenční vzorek oleje HM 46

U většiny kontrolovaných strojů se používá hydraulický olej HM 46 od společnosti Paramo. Tento olej jsem dostal k dispozici jako referenční vzorek pro porovnání změn v oleji s postupem času.

Tab. 5: Výsledky tribodiagnostických zkoušek referenčního vzorku HM 46

Parametr kvality	Rozměř	Metoda	Pořadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	48,48
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,893
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99		18/15/13	19/16/14	17/16/13
Třída čistoty	třída	NAS1638		8	>9	8
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		20	30	< 1,0
obsah Cu				20	30	4,3
obsah Cr				10	15	6,1
obsah Sn				10	15	< 3,0
obsah Si				20	30	< 1,0
obsah Pb				20	30	0,3
obsah Al				20	30	< 5,1
Aditiva, degradace				Referenční		hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				12780
obsah P						870,8
obsah Na						970
obsah Zn						821,4
obsah Ca						96,8

U referenčního vzorku vyšel zhoršený kód čistoty. Zhoršená čistota referenčního vzorku, se projeví i u odebraných olejů kontrolovaných strojů.

10.2 Vertikální obráběcí centrum MCFV 1260

Vysoce produktivní stroj pro třískové obrábění ve třech osách X,Y, Z, který umožňuje obrábění prostorově složitých strojů. Vřeteno stroje je uloženo ve vřetenové jednotce zabudované ve vřeteníku a pohybuje se ve vertikálním směru (osa Z) po vedení stojanu. Pracovní stůl, na kterém je upnutý obrobek se pohybuje v podélném směru (osa X) po vedení na křížovém suportu. Ten se pohybuje po vedení na základně v příčném směru (osa Y).



Obr. 31: Obráběcí centrum MCFV 1260

Tab. 6: Parametry stroje MCFV 1260

rok výroby	2016
výrobce	TAJMAC-ZPS, a. s
výrobní číslo	V290C0417
firemní označení	14909
celková hmotnost	8300 kg
max. otáčky vřetena	8000 min ⁻¹

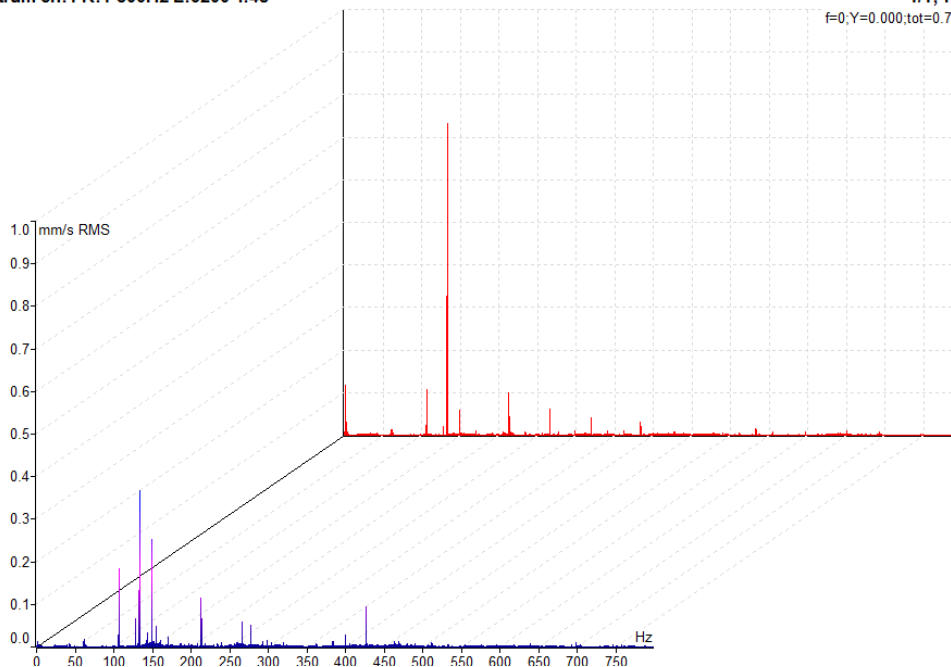
Tab. 7: Naměřené hodnoty vibrací – MCFV 1260

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})			
Popis		MCFV 1260	
Datum		5. 12. 2017	24. 4. 2018
Měřicí místo		Vřeteno	Vřeteno
Veličina	Směr		
Max. ot/min	8000	8000 (133,33 Hz)	8000 (133,33 Hz)
v_{RMS} [mm/s]	V	0,535	0,763
	H	0,343	0,308
	A	0,519	0,460
a_{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	V	0,434	0,522
	H	0,376	0,495
	A	0,546	0,306
Pozn.		Bez zátěže s nástrojem	Bez zátěže s nástrojem

Naměřené vibrace vypadají v obou naměřených případech v pořádku a neukazují žádné zvýšené hodnoty. Z pohledu vibrodiagnostiky je tento stroj v dobrém technickém stavu.

13 spectrum ch:1 R:1-800Hz L:3200 T:4s

1/1;-Hz
f=0;Y=0.000;tot=0.783



Obr. 32: Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru. (Druhé měření s mírným nárůstem zobrazeno jako druhé)

Tab. 8: Výsledky tribodiagnostických zkoušek- MCFV 1260



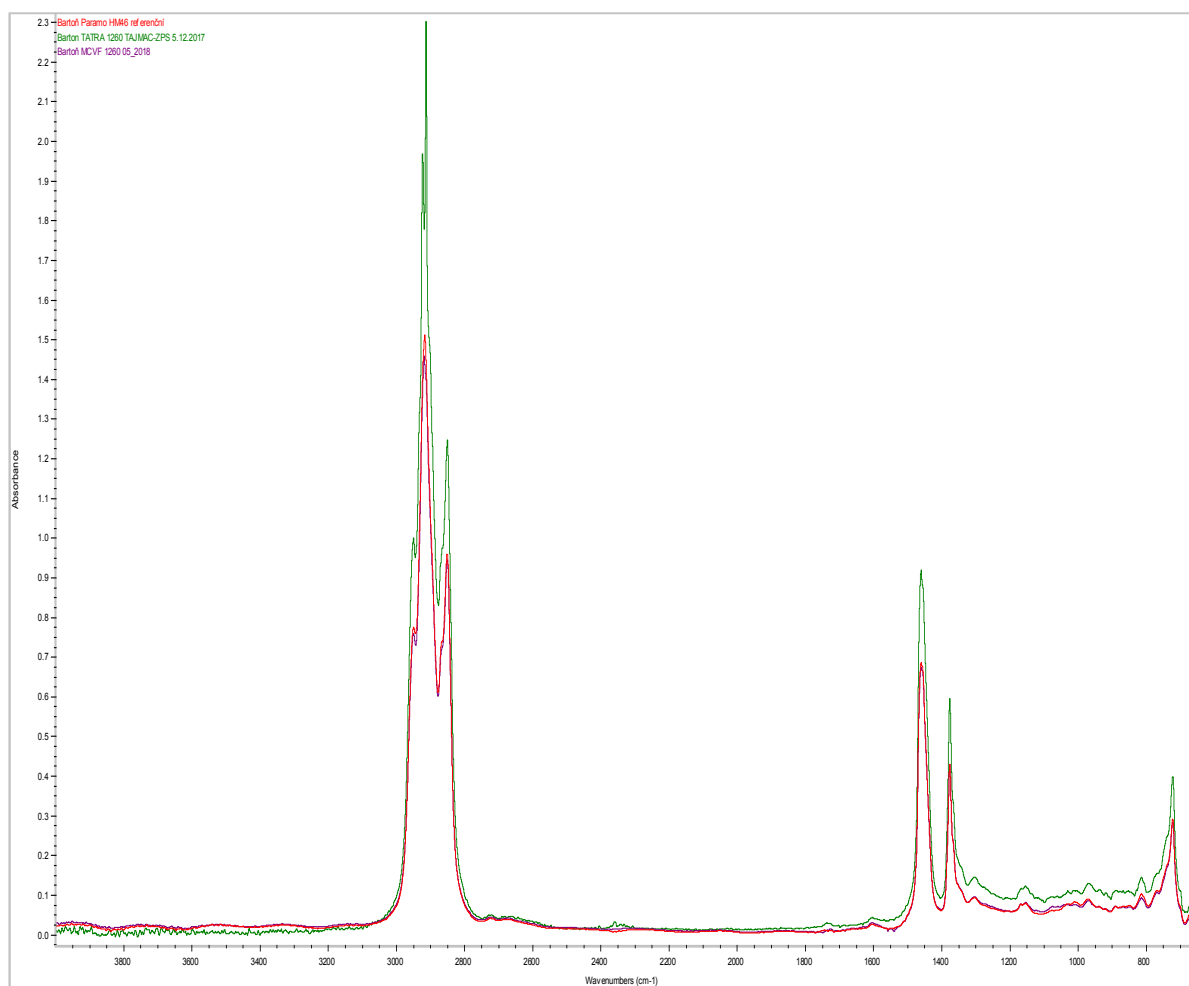
Obr.33 : Ultrafiltr 1. vzorek



Obr. 34: Ultrafiltr 2. vzorek

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			1. Vzorek	2. Vzorek
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	45,35	45,35
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,400	0,500
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,05	0,011	0,006
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99		18/15/13	19/16/14	15/14/11	16/15/13
Třída čistoty	třída	NAS1638		8	>9	7	7
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		20	30	< 1,0	< 1,0
obsah Cu				20	30	7,3	6,2
obsah Cr				10	15	15,3	9,9
obsah Sn				10	15	< 3,0	< 3,0
obsah Si				20	30	< 1,0	< 1,0
obsah Pb				20	30	0,5	0,3
obsah Al				20	30	< 5,1	< 5,1
Aditiva, degradace				Referenční		hodnota	hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika		12780		12610	11520
obsah P				870,8		587,4	607,7
obsah Na				970		1054	1114
obsah Zn				821,4		561,4	576,6
obsah Ca				96,8		48,3	44,6

Výsledky tribodiagnostických rozboru byly v normě, jen u druhého odběru se ukazuje zvýšený kód čistoty.



Obr. 35: Spektrální analýza, srovnání použitého oleje s referenčním vzorkem

Na pásmu 1740 cm^{-1} se jeví drobná oxidace a na pásmu $960\text{--}1025\text{ cm}^{-1}$ je vidět lehký úbytek protiotěrových přísad. Nejedná se ovšem o nic závažného.

10.3 Vertikální obráběcí centrum MCV 1270

Vysoce efektivní obrábění zajišťuje aplikace vysokorychlostních vřeten s vysokými rychloposuvy. Aplikace lineárního vedení ve všech lineárních osách zaručuje požadovanou přesnost a dynamiku obrábění. Stroj je postaven na nosném rámu tvaru C, který je optimalizován s ohledem požadavku na vysokou tuhost a stabilitu. Zařízení umožňuje snadnou a rychlou výměnu nástrojů ze zásobníku pomocí mechanické ruky. Vysoká tuhost nosného rámu stroje umožňuje, jak silové obrábění, tak velice přesné obrábění složitých dílců.



Obr. 36: Obráběcí centrum MCFV 1270

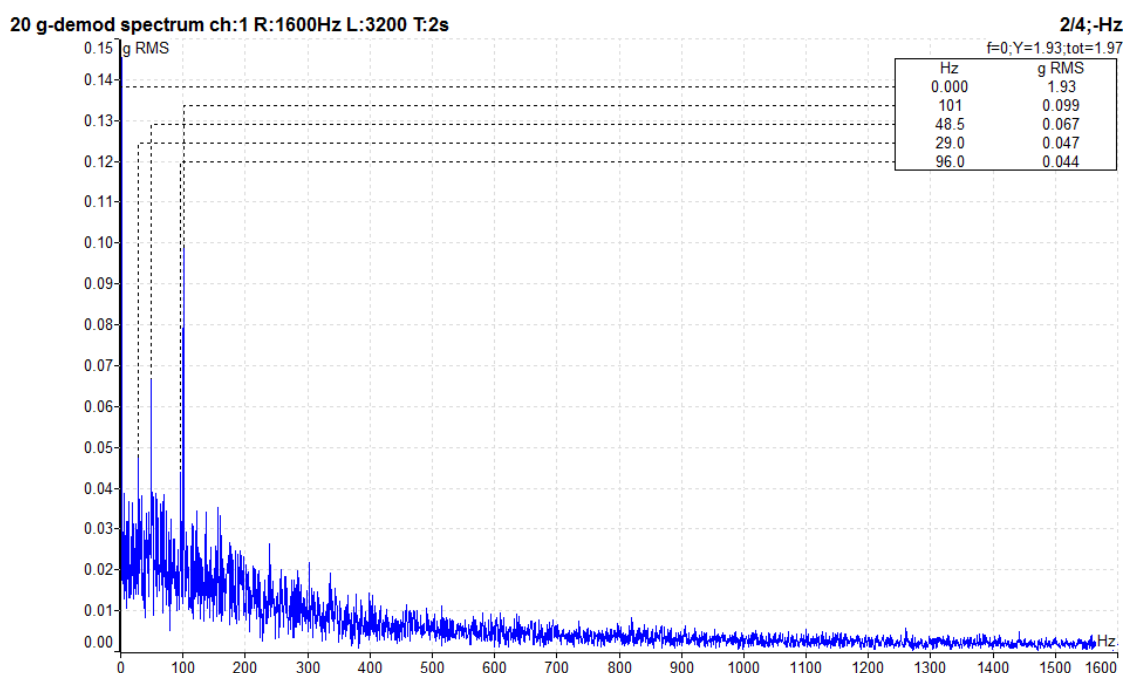
Tab. 9: Parametry stroje MCFV 1270

rok výroby	2008
výrobce	TAJMAC-ZPS, a. s
výrobní číslo	218
firemní označení	14670
celková hmotnost	11 000 kg
max. otáčky vřetena	8000 min ⁻¹

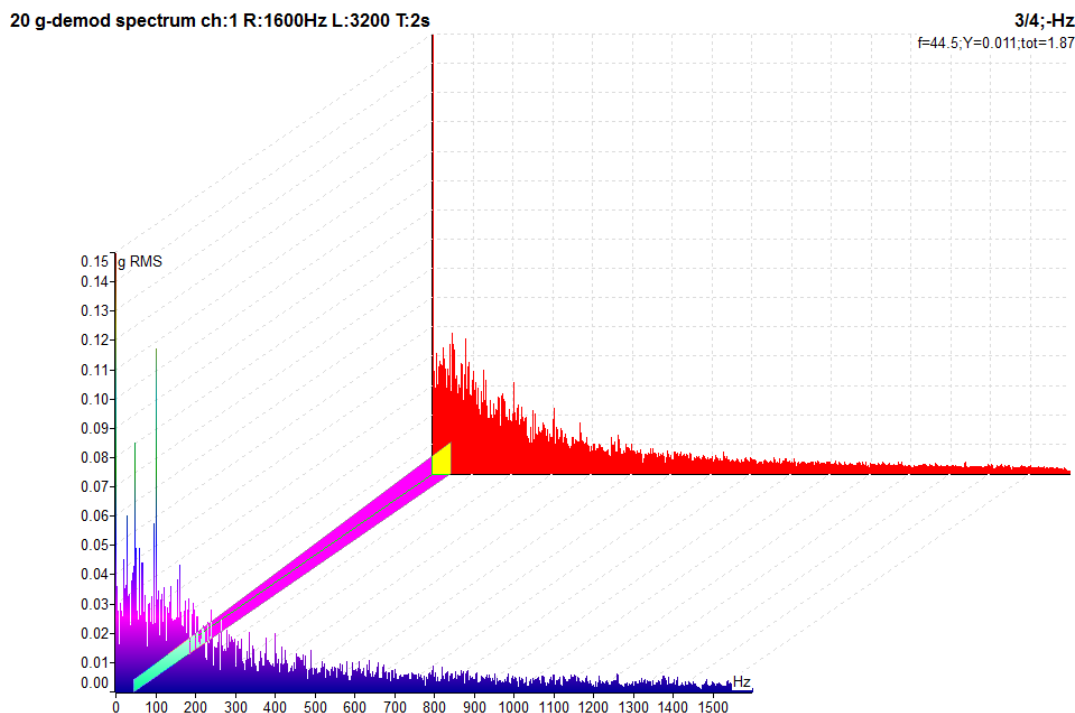
Tab. 10: Naměřené hodnoty vibrací – MCV 1270

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})			
Popis		MCV 1270	
Datum		5. 12. 2017	24. 4. 2018
Měřicí místo		Vřeteno	Vřeteno
Veličina	Směr		
Max. ot/min	6000	6000 (100 Hz)	6000 (100 Hz)
v_{RMS} [mm/s]	H	0,523	0,415
	V	0,173	0,224
	A	0,841	0,231
a_{RMS} [g] 500–25600 Hz	H	0,975	0,991
	V	0,722	1,09
	A	0,287	1,26
Pozn.		Bez zátěže s nástrojem	Bez zátěže s nástrojem

Hodnoty rychlosti vibrací jsou u tohoto stroje v pořádku. Při druhém měření jsou zvýšené hodnoty zrychlení v axiálním směru a vertikálním směru. Hodnoty těchto vibrací jsou ještě stále v normě.

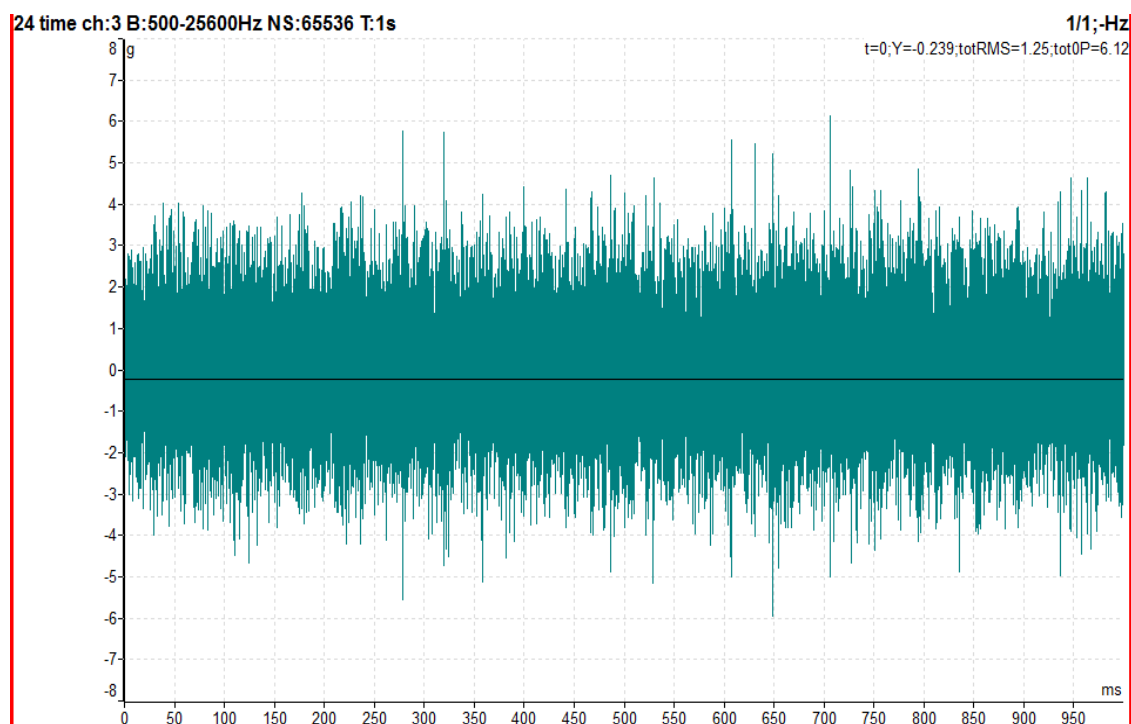


Obr. 37: Obálková metoda v horizontálním směru (1. měření)



Obr. 38: Srovnání obálkové metody 1. a 2. měření (2. měření vpředu)

U druhého měření můžeme vidět nárůst zrychlení vibrací oproti prvnímu měření. V tomto případě to vypadá na začátek poškození ložiska, mohlo by se jednat o možný problém s klecí ložiska.



Obr. 39: Časový záznam efektivní hodnoty zrychlení v axiálním směru (2. měření)

10.4 Obráběcí centrum Heckert 500

Středně velké, 4osé obráběcí centrum zaručující maximální účinnost, vysokou kvalitu obrábění a spolehlivost pro celý průmysl obrábění kovů. Stroj má automatickou výměnu nástrojů ze zásobníku pomocí hydraulického dvojitého ramene. Hydraulika má centrální mazání a vřeteno vlastní náplň.



Obr. 40: Obráběcí centrum HEC 500

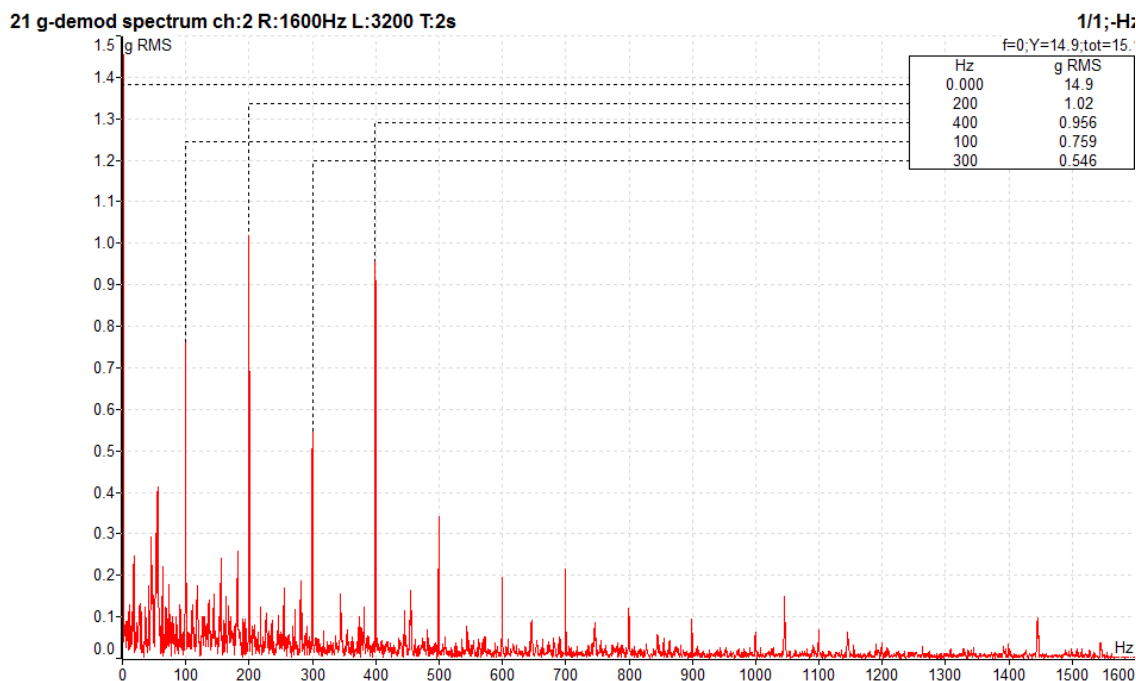
Tab. 11: Parametry stroje HEC 500

typ	HEC 500
výrobce	Starragheckert
rok výroby	2010
výrobní číslo	10375
firemní označení	14692
celková hmotnost	21 000 kg
max. otáčky vřetena	6000 min ⁻¹

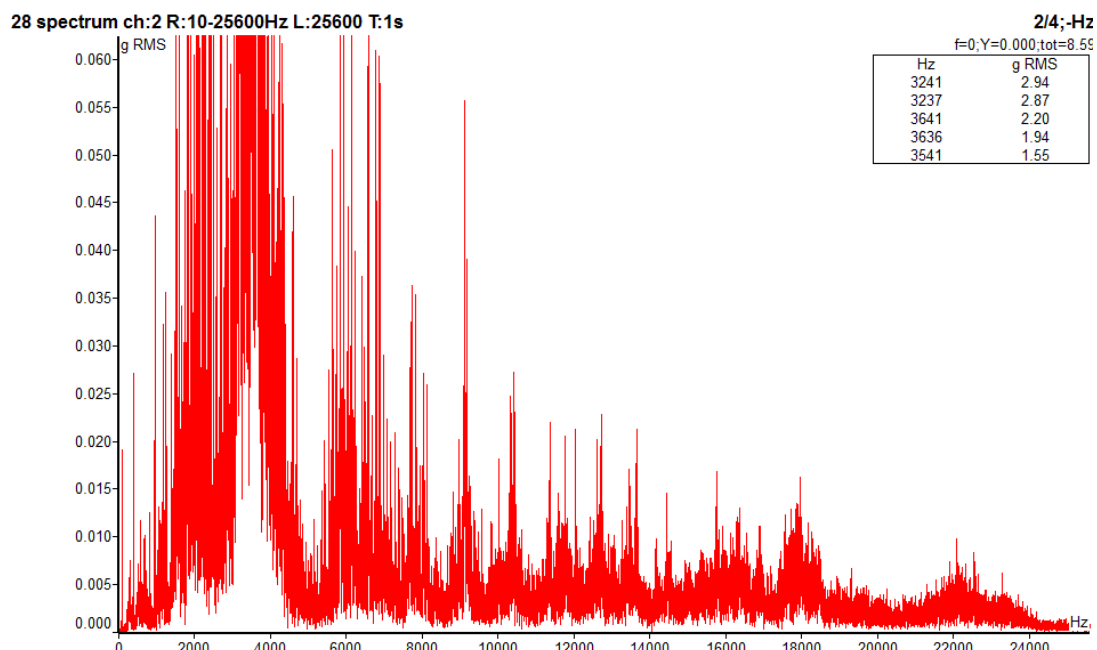
Tab. 12: Naměřené hodnoty vibrací Hec 500

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})					
Popis		HEC 500			
Datum		5. 12. 2017		24. 4. 2018	
Měřicí místo		Vřeteno		Vřeteno	
Veličina	Směr	Vřeteno		Vřeteno	
Max. ot/min	6000	6000 (100 Hz)		6000 (100 Hz)	
v_{RMS} [mm/s]	H	0,288		0,311	
	V	0,295		0,432	
	A	0,343		0,370	
a_{RMS} [g] 500– 25600 Hz	H	0,459		7,58	
	V	0,448		8,86	
	A	0,541		5,86	
Pozn.		Bez zátěže s nástrojem		Bez zátěže s nástrojem	

První měření proběhlo v pořádku, stroj nejevil žádné zvýšené hodnoty vibrací. U druhého měření jsou malé rychlosti vibrací, ovšem zrychlení vibrací překročilo povolenou mez 3g.

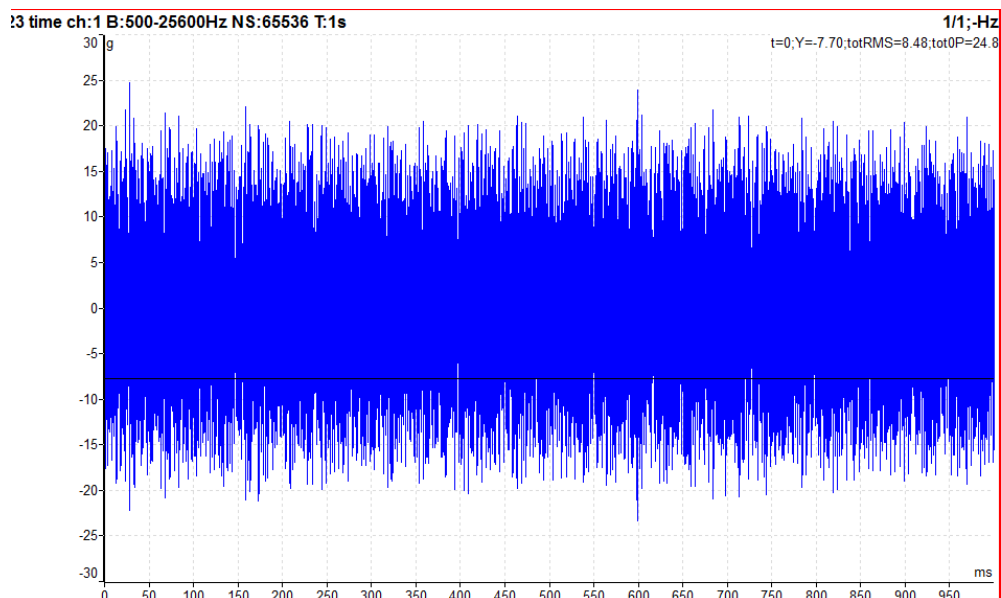


Obr. 41: Obálková metoda ve vertikálním směru (2. měření)

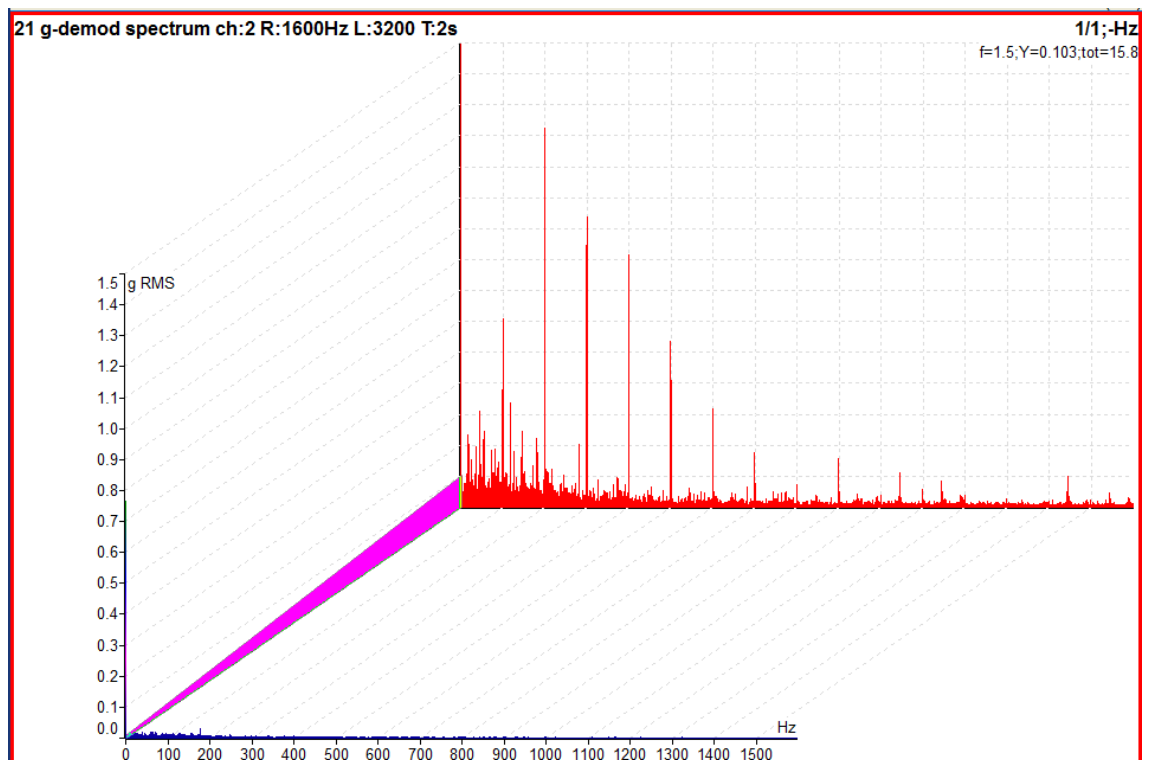


Obr. 42: Frekvenční spektrum zrychlení vibrací (2. měření)

Zobrazený šum od 5000 Hz značí problém s ložiskem. Důvodem může být suché ložisko, proto bych doporučil pokusit se ložisko domazat a v případě pokračování zvýšených vibrací ložisko vyměnit.



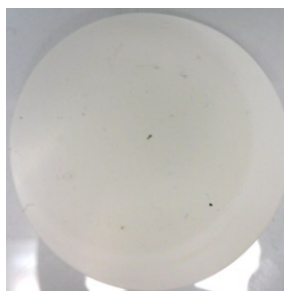
Obr. 43: Časový záznam efektivní hodnoty zrychlení v horizontálním směru



Obr. 44: Obálková metoda – srovnání prvního měření s druhým

Na obrázku můžeme vidět, jak velký nárůst hodnot zrychlení nastal při druhém měření.

Tab. 12: Výsledky tribodiagnostických zkoušek - HEC 500



Obr. 45: Ultrafiltr 1. vzorek



Obr. 46: Ultrafiltr 2. vzorek

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			1.vzorek	2.vzorek
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	46,5	46,85
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,600	0,687
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,05	0,002	0,005
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99		18/15/13	19/16/14	15/15/13	15/15/14
Třída čistoty	třída	NAS1638		8	>9	8	9
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		20	30	< 1,0	0,7
obsah Cu				20	30	4,8	5
obsah Cr				10	15	6,6	5
obsah Sn					15	< 3,0	< 3,0
obsah Si				20	30	< 1,0	< 1,0
obsah Pb				20	30	< 0,2	< 0,2
obsah Al				20	30	< 5,1	< 5,1
Aditiva, degradace				Referenční		hodnota	hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				10840	10290
obsah P						801,1	749,4
obsah Na						1293	1213
obsah Zn						725,4	680,5
obsah Ca						45,6	38,4

Tento vzorek vykazuje zvýšenou třídu čistoty. Při druhém odběru se projevilo mírné zhoršení čistoty. To potvrzuje i fotka navážky ultra filtru 25 ml pro druhý odběr. Mezi oběma odběry se podle informací dolévalo 16 litrů oleje do nádrže o objemu 150 litrů. U tohoto stroje se zprvu používal hydraulický olej HLP 46, nicméně postupem času se nejspíš doléval olej HM 46, jehož referenční vzorek sám o sobě vykazuje zvýšený obsah nečistot.

10.5 Obráběcí centrum HEC 630

Novější verze stroje HEC 500 je také středně velké 4osé obráběcí centrum zaručující maximální účinnost, vysokou kvalitu obrábění a spolehlivost pro celý průmysl obrábění kovů. Tento stroj už má v sobě zabudovanou online diagnostiku (dálkovou diagnostiku), díky které je stroj pod neustálou kontrolou.

U tohoto stroje byl odebrán a zkoumán hydraulický olej pro centrální mazání a také olej od převodovky vřetene. Vřeteno obsahuje vlastní náplň.



Obr. 47: Obráběcí centrum HEC 630 [18]

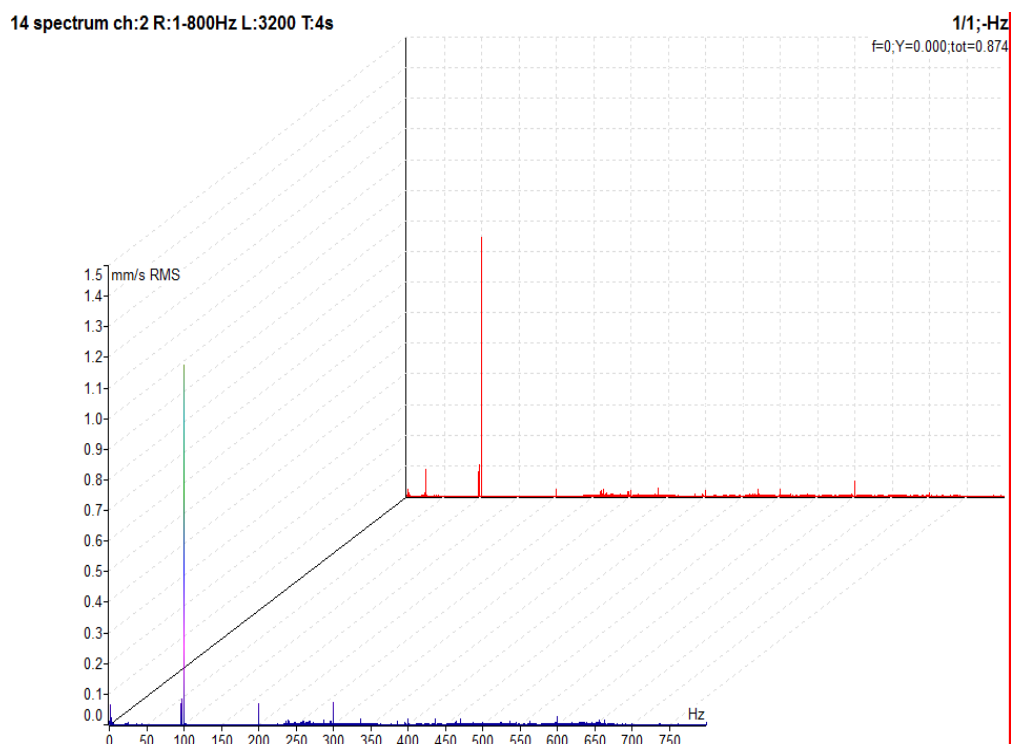
Tab. 14: Parametry stroje HEC 630

typ	HEC630
výrobce	Starragheckert
rok výroby	2016
výrobní číslo	12467
firemní označení	14864
celková hmotnost	21 500 kg
max. otáčky vřetena	10 000 min ⁻¹

Tab. 15: Naměřené hodnoty vibrací Hec 630

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})			
Popis		HEC 630	
Datum		5. 12. 2017	24. 4. 2018
Měřicí místo		Vřeteno	Vřeteno
Veličina	Směr		
Max. ot/min	6000	6000 (100 Hz)	6000 (100 Hz)
v_{RMS} [mm/s]	H	0,498	0,533
	V	1,19	0,865
	A	0,481	0,233
a_{RMS} [g] 500– 25600 Hz	H	0,380	0,384
	V	0,392	0,249
	A	0,475	0,520
Pozn.		Bez zátěže s nástrojem	Bez zátěže s nástrojem

První měření na tomto stroji ukázalo mírně zvýšenou rychlost vibrací ve vertikálním směru. Druhé měření zvýšenou rychlost vibrací nepotvrdilo a hodnota klesla pod 1 mm/s.



Obr. 48: Frekvenční spektrum rychlosti vibrací ve vertikálním směru. (1. měření vpředu)

Tab. 16: Výsledky tribodiagnostických zkoušek – HEC 630 - hydraulický olej



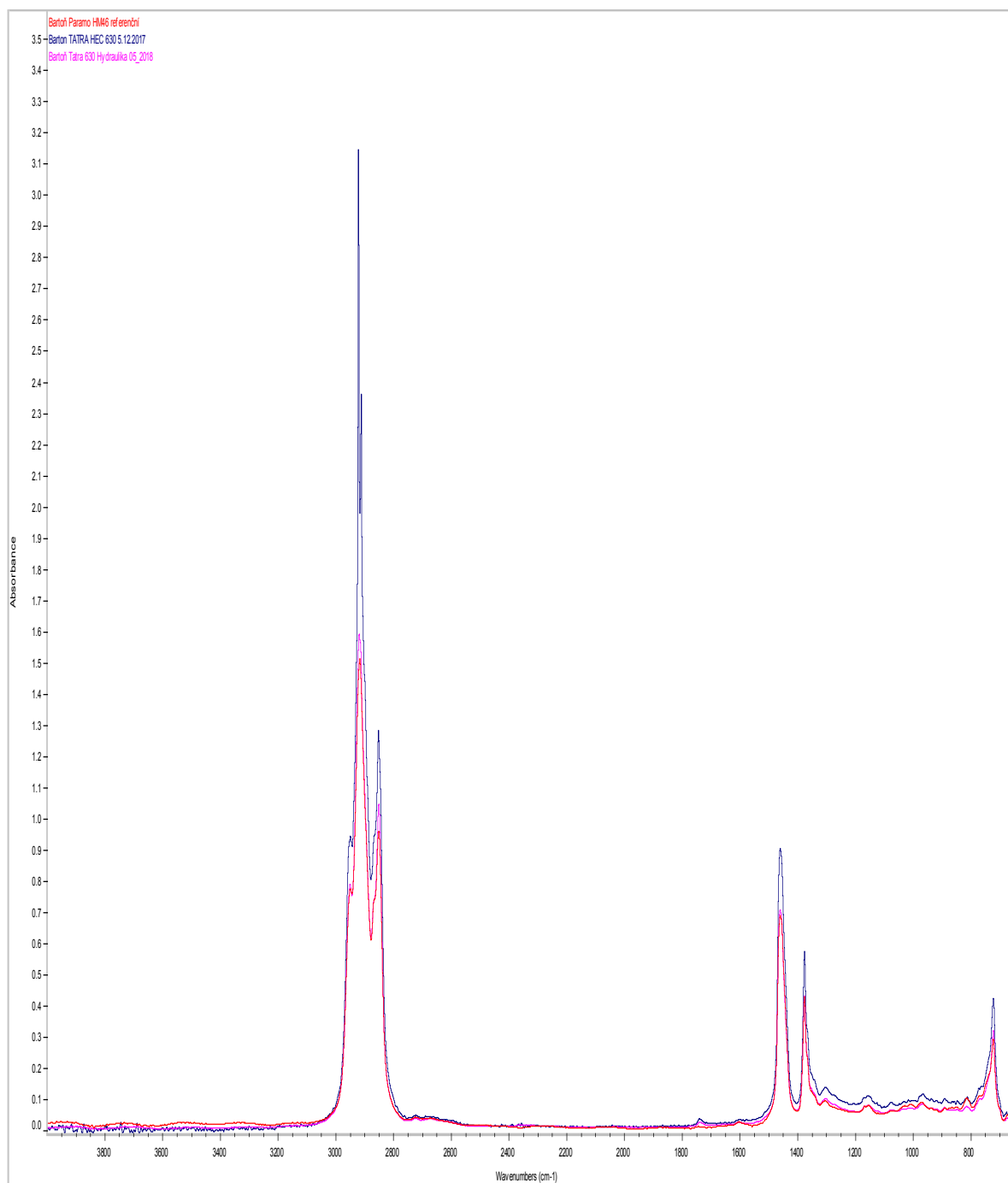
Obr.49: Ultrafiltr 1. vzorek



Obr. 49: Ultrafiltr 2. vzorek

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			1. vzorek	2. vzorek
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	47,05	43,1136
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,285	0,470
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,05	0,010	0,005
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99		18/15/13	19/16/14	16/15/13	17/16/13
Třída čistoty	třída	NAS1638		8	>9	8	8
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		20	30	< 1,0	9,3
obsah Cu				20	30	5,2	6
obsah Cr				10	15	13,3	9,4
obsah Sn				10	15	< 3,0	< 3,0
obsah Si				20	30	< 1,0	< 1,0
obsah Pb				20	30	0,3	< 0,2
obsah Al				20	30	< 5,1	< 5,1
Aditiva, degradace				Referenční		hodnota	hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika		12780		4861	4925
obsah P				870,8		507,6	495,4
obsah Na				970		1944	< 1005
obsah Zn				821,4		451,3	447,8
obsah Ca				96,8		197,2	187,3

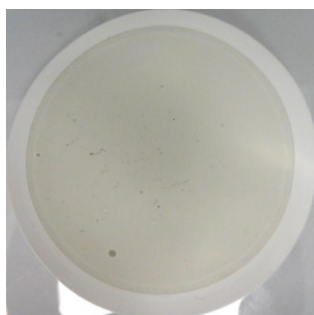
Stejně jako u referenčního vzorku je i tady zhoršený kód čistoty.



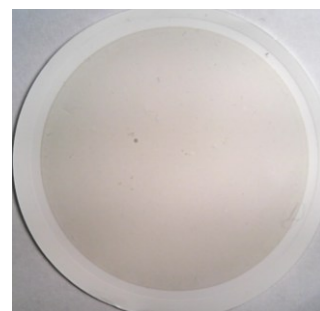
Obr. 50: Spektrální analýza, porovnání použitého oleje s referenčním vzorkem.

Spektrum ukazuje drobnou oxidaci na pásmu 1740 cm^{-1} , nejedná se ale o nic závažného.

Tab. 17 Výsledky tribodiagnostických zkoušek – HEC 630 - převodový olej



Obr. 51: ultrafiltr 1. vzorek



Obr. 52: ultrafiltr 2. vzorek

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			1. Vzorek	2. Vzorek
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	47,05	47,752
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,364	0,411
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,05	0,005	0,010
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99		20/17/15	21/18/16	18/17/15	14/14/12
Třída čistoty	třída	NAS1638		10	>11	11	7
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		60	100	2,6	2,4
obsah Cu				30	60	4,8	4,8
obsah Cr				12,5	15	11,9	6,3
obsah Sn				20	40	< 3,0	< 3,0
obsah Si				20	40	37,7	43,4
obsah Pb				20	40	0,3	< 0,2
obsah Al				20	40	< 5,1	< 5,1
Aditiva, degradace				Referenční		hodnota	hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				5778	6233
obsah P						464,8	464
obsah Na						< 1005	< 1005
obsah Zn						366,9	339,9
obsah Ca						108,4	107

Nebyl k dispozici vzorek referenčního převodového oleje, nebylo tudíž možné provést porovnání. Olej obsahuje zvýšené množství křemíku, mohlo by se jednat o špatné těsnění. Při druhém odběru se obsah křemíku v oleji dostal přes povolenou mez. Překvapivě zkouška čistoty vyšla při druhém odběru lépe a nedosahuje výstražné hodnoty.

10.6 Obráběcí centrum Hec 800

Středně velké 4osé obráběcí centrum zaručující maximální účinnost, vysokou kvalitu obrábění a spolehlivost pro celý průmysl obrábění kovů. Díky dynamicky nastavovacím osám dochází ke zkrácení obráběcích časů. Stroj má centrální mazání pro šroubové pohony. Stroj je pod neustálou kontrolou, díky zabudovanému online systému.

Jedná se o nejnovější stroj, na kterém bylo prováděno měření. Stroj byl nainstalován měsíc před prvním měřením.



Obr. 53: Obráběcí centrum Heckert 800 [19]

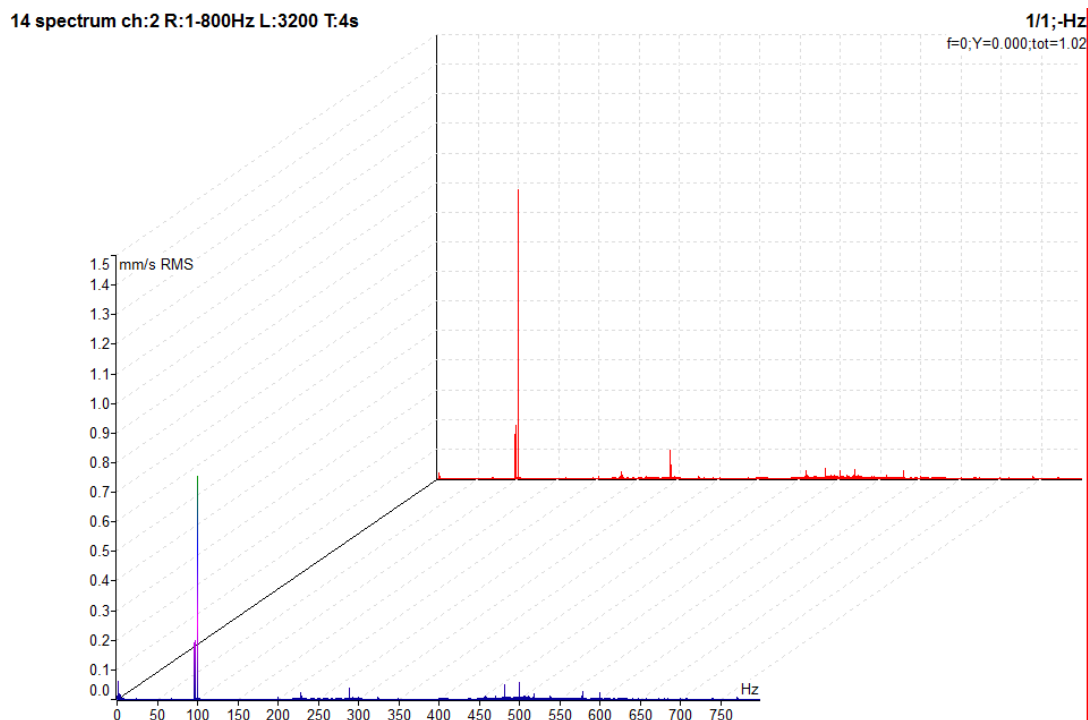
Tab. 18: Parametry stroje HEC 800

typ	HEC 800
výrobce	Starragheckert
rok výroby	2017
výrobní číslo	14519
firemní označení	14864
celková hmotnost	40 000 kg
max. otáčky vřetena	15 000 min ⁻¹

Tab. 19: Naměřené hodnoty vibrací Hec 800

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})			
Popis		HEC 800	
Datum		5. 12. 2017	24. 4. 2018
Měřicí místo		Vřeteno	Vřeteno
Veličina	Směr		
Max. ot/min	6000	6000 (100 Hz)	6000 (100 Hz)
v_{RMS} [mm/s]	H	0,376	0,340
	V	0,831	0,997
	A	0,243	0,344
a_{RMS} [g] 500– 25600 Hz	H	0,208	0,247
	V	0,219	0,261
	A	0,516	0,549
Pozn.		Bez zátěže s nástrojem	Bez zátěže s nástrojem

Vibrace tohoto stroje jsou v pořádku. Stroj nejeví žádné technické závady.



Obr. 54: Spektrum rychlosti vibrací ve vertikálním směru (2. měření vzadu)

Tab. 20: Výsledky tribodiagnostických zkoušek – HEC 800



Obr. 55: ultrafiltr 1. vzorek



Obr. 56: ultrafiltr 2. Vzorek

Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			1. Vzorek	2. Vzorek
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	43,06	43,1136
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,424	0,608
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,05	0,004	0,005
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99		18/15/13	19/16/14	17/16/12	15/14/13
Třída čistoty	třída	NAS1638		8	>9	8	10
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		20	30	< 1,0	46,5
obsah Cu				20	30	4,5	4,3
obsah Cr				10	15	8,1	11
obsah Sn				10	15	< 3,0	< 3,0
obsah Si				20	30	< 1,0	< 1,0
obsah Pb				20	30	< 0,1	< 0,2
obsah Al				20	30	< 5,1	< 5,1
Aditiva, degradace				Referenční	hodnota	hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika		12780	10800	2818	
obsah P				870,8	795	690,9	
obsah Na				970	< 1005	< 1005	
obsah Zn				821,4	726,5	623,3	
obsah Ca				96,8	47,2	57,7	

Oba vzorky vykazují zhoršenou čistotu. Při odebraném druhém vzorku oleje došlo ke značnému zvýšení mechanických nečistot, podle normy NAS 1638 dokonce nad povolenou mez. V oleji je obsaženo hodně železa, které také přesahuje povolenou mez. Dále je tady zvýšené množství chromu, který je zatím ve výstražné hodnotě.

11 Závěr

Úkolem diplomové práce bylo zhodnotit technický stav obráběcích CNC center ve společnosti TATRA TRUCKS a.s. Pro toto zhodnocení bylo využito multiparametrické diagnostiky v podobě kombinace vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. Pro objektivitu a sledování vývoje technického stavu stroje bylo první měření provedeno 5. 12. 2017 a druhé měření 24. 4. 2018. Všechny měření vibrací byly provedeny na vřetenech stroje s upnutým nástrojem bez zatížení. Následné vyhodnocení bylo provedeno na počítači pomocí softwaru Virtual Unit od společnosti Adash, s jejichž přístrojem bylo měření provedeno. Práce obsahuje, mimo hodnot efektivní rychlosti vibrací a zrychlení vibrací, také obrázky frekvenčních spekter, důležité pro lokalizaci závady.

V případě tribodiagnostiky byl proveden také 2x odběr vzorků oleje s rozestupem několika měsíců tak, aby bylo možno zhodnotit vývoj kvality maziva. Rozbory olejů byly prováděny ve školní laboratoři a vzhledem k počtu vzorků se jednalo o docela časově náročnou záležitost.

V následující části zhodnotím každý stroj jednotlivě.

MCV1260: Z pohledu vibrodiagnostiky je tento stroj v dobrém technickém stavu. Pouze olej ukazuje mírně zvýšený kód čistoty a spektrální analýza ukazuje mírný úbytek protiotěrových přísad.

MCFV 1270: První měření vibrací neukazovalo žádné zvýšené hodnoty, při druhém měření se projeví zvýšené hodnoty zrychlení ve vertikálním a axiálním směru. Hodnoty jsou stále v normě a nedosahují zatím hodnot výstrahy. Zvýšené hodnoty by mohly znamenat začínající poškození klece ložiska. Tribodiagnostika u tohoto stroje, nebyla provedena. Při prvním měření nebyl stroj v provozu potřebných 20 minut, jak se píše v normě pro správný odběr vzorku. Počet vzorků odebraných olejů byl už tak dost velký a na zpracování časově náročný, proto už jsem neprováděl dodatečný odběr.

HEC 630: Stroj je z pohledu vibrodiagnostiky v dobrém stavu. Hydraulický olej vykazuje zvýšené nečistoty. První odběr převodového oleje vykazoval zvýšené nečistoty a výstražnou hodnotu křemíku. Z druhého odběru je patrné, že obsah křemíku narůstá. V tomto případě to vypadá na špatné těsnění, proto jej doporučuji zkontrolovat. Co se týče kódu a třídy čistoty, tak ty při druhém odběru značně klesly.

HEC 500: U tohoto stroje první měření ukazovalo nízké hodnoty vibrací, ovšem při druhém měření byly zaznamenané zvýšené hodnoty zrychlení vibrací ve všech třech směrech, vysoce přes povolenou mez. Zde by se mohlo jednat o suché ložisko. V prvním kroku by bylo vhodné pokusit se ložisko domazat, nicméně hodnoty jsou tak vysoké, že se jeví spíše pravděpodobnost poškozeného ložiska. U obou odebraných vzorků je zhoršená čistota, která se s odstupem času ještě zhoršila.

HEC 800: Jedná se o nejnovější stroj, na kterém probíhalo měření. Z pohledu vibrodiagnostiky je tento stroj v dobrém technickém stavu. Rozbory olejů vykazují zvýšený kód a třídu čistoty. Při druhém odběru se dokonce třída čistoty podle normy NAS 1638 dostala přes povolenou mez. Olej dále obsahuje zvýšený obsah chrómu, který je ve výstražné hodnotě, obsah železa v oleji přesahuje povolenou mez.

Poděkování

Na závěr bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Janu Blatovi Ph.D., za jeho rady a postřehy při zpracování měření. Dále vedoucímu údržby společnosti TATRA TRUCKS a.s panu Liboru Kahánkovi za umožnění spolupráce a také panu Petru Kabud'ovi za poskytnuté informace a spolupráci během měření. Jako poslední musím poděkovat také své rodině za veškerou podporu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost: IV. Provoz a údržba strojů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN isbn978-80-248-1690-6.
- [2] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej : teorie a praktyka*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN isbn978-80-248-2997-5.
- [3] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost: II. Vibrodiagnostika*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN isbn80-248-0650-9.
- [4] TŮMA, Jiří. *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Praha: Sdělovací technika, 1997. ISBN isbn80-901936-1-7.
- [5] TATRA TRUCKS a.s. www.tatra.cz [online]. [cit. 2018-04-27]. <http://www.tatra.cz/o-spolecnosti/historie-tatry/historie-vyroby/>
- [6] Automobil NW Präsident. *Národní technické muzeum* [online]. Praha: EnterMedia, c1996-2016 [cit. 2018-05-8]. Dostupné z: http://www.ntm.cz/exponat/automobil_prasident
- [7] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost: I. Tribodiagnostika*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN sbn80-7078-883-6.
- [8] Jandova K.: Vibrodiagnostika, prezentace. [online] [cit. 2018-05-8]. Dostupné z : <http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk/sem2006/VD_JANDOVA.ppt>
- [9] TATRA TRUCKS a.s.: *Tatrovácká koncepce* [online] [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/tatrovacka-koncepce/

- [10] *TATRA TRUCKS a.s.: TATRA PHOENIX Euro 6* [online] [cit. 2018-05-8].
Dostupné z: <http://www.tatra.cz/nakladni-automobily>
- [11] *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů: Část vibrační diagnostika.*
[Online] 2012 [cit. 2018-05-11.] Dostupné z
http://www.337.vsb.cz/materialy/BilosovaVIBDI_skripta.pdf
- [12] *Ložisko.* [Online] 2012 [Cit: 2018-05-11.]
http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_6
- [13] Adash. A4400 VA Pro. [Online] 2016. [Cit: 2018-05-10]
http://adash.cz/doc/a4400/A4400_VA4_CZ.pdf
- [14] *Analyzátor vibrací Adash* [online]. [cit. 2018-05-011]. Dostupné z:
<http://adash.com/cs/prenosne-merici-systemy/a4400-va4-vibracni-analyzator>
- [15] *MCFV-1260* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCFV-1260>
- [16] *MCV-1270* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:
<https://www.kovosvit.cz/mcv-1270-p9.html>
- [17] *HECKERT 500. Starrag* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z:
<https://www.starrag.com/en-us/v/model-range/horizontal-machining-centers/2/machine/hec-500-athletic/17>
- [18] *HECKERT 630. Starrag* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z:
<https://www.starrag.com/en-us/v/model-range/horizontal-machining-centers/2/machine/hec-630-athletic/63>
- [19] *HECKERT 800. Starrag* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z:
<https://www.starrag.com/en-us/v/model-range/horizontal-machining-centers/2/machine/hec-800-athletic/65>

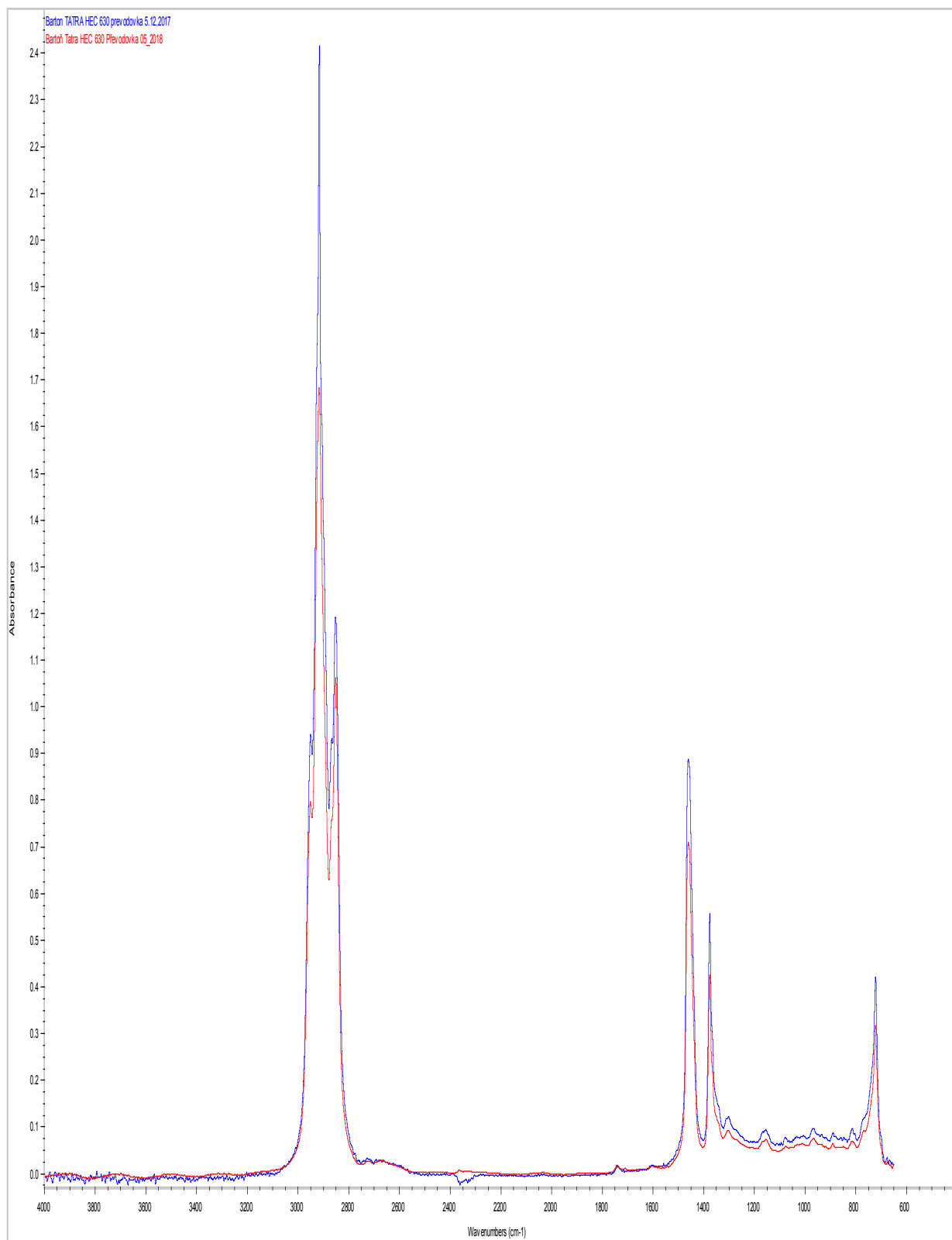
Přílohy:

Příloha 1: Spektrální analýza, porovnání 1. a 2. odběru převodového oleje (HEC 630)

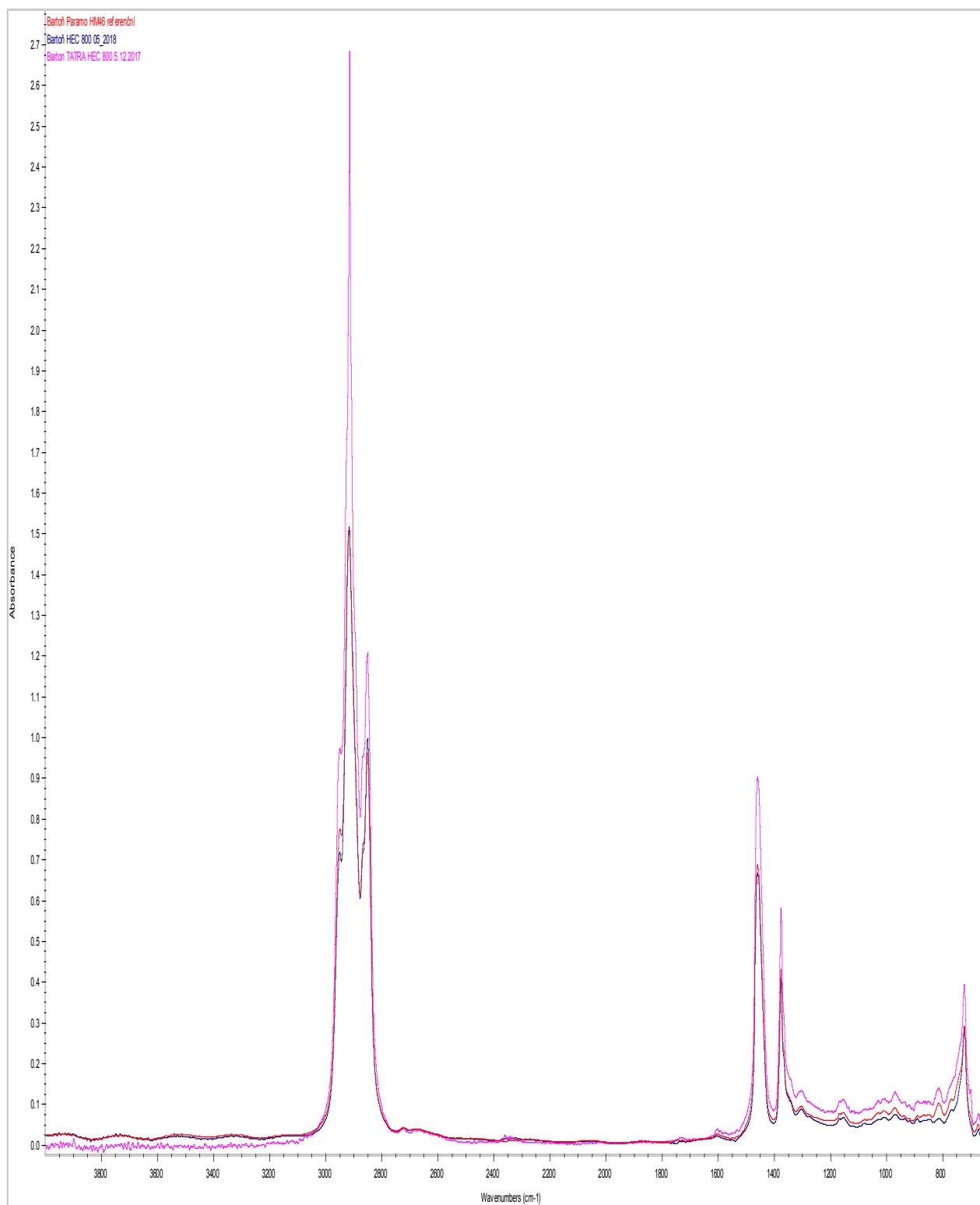
Příloha 2: Spektrální analýza, porovnání obou odběrů s referenčním vzorkem (HEC 8000)

Příloha 3: Technické údaje hydraulického oleje Paramo HP 46

Příloha 1



Příloha 2:



Příloha 3:



Technické informace

PARAMO HM

ISO VG 10, 22, 32, 46, 68, 100

Popis:

Výrobky skupiny PARAMO HM jsou vysoce kvalitní hydraulické oleje kategorie HM. Jsou vyrobeny z hluboce rafinovaných základových olejů, které jsou zušlechťeny účinnými přísadami proti oxidaci, korozi, opotřebení, pění a dále přísadami ke zlepšení nízkoteplotních vlastností.

Užití:

Jsou určeny především pro hydrostatické hydraulické mechanismy, zejména vysokotlaké, vybavené hydrogenerátory s vysokými požadavky na protitěrový účinek oleje (lamelové, axiální a radiální pístové) a náročními na jeho termooxidační stálost. Jsou vhodné i pro mobilní hydrauliky pracující celoročně v nechráněném prostředí a mohou být použity i k mazání namáhaných oběhových soustav, ozubených převodů aj. Často se využívají i k mazání pohyblivých dilů pomocí tzv. "olejové mlhy". Typické aplikace jednotlivých viskozitních tříd olejů této skupiny jsou:

PARAMO HM 10 – zejména pro speciální hydraulické systémy, kde je doporučen nízkoviskózní hydraulický olej

PARAMO HM 22 - systémy pracující při velmi nízkých teplotách (zimní provoz)

PARAMO HM 32 - systémy pracující při nízkých teplotách (zimní příp. celoroční provoz)

HYDRAULICKÝ OLEJ

PARAMO HM 46 - hydrauliky v obvyklých podmínkách (celoroční provoz)
PARAMO HM 68 - soustavy pracující při vysokých teplotách (letní provoz)
PARAMO HM 100 - soustavy pracující při extrémně vysokých teplotách, některé speciální aplikace

Klasifikace, specifikace:

ISO 6743/4 HM

DIN 51 502 H

DIN 51 524 část 2 HLP

Charakteristické vlastnosti:

- výborně chrání mazané soustavy proti opotřebení
- vynikající protikorozi vlastnosti
- výborná odolnost proti oxidaci je zárukou velmi dlouhé životnosti
- nepůsobí agresivně na elastomery, s nimiž přicházejí do styku
- velmi dobře odlučují vzduch a mají velmi dobrou schopnost odolávat tvorbě trvalé emulze
- minimální tendence k tvorbě pěny
- velmi dobrý průběh viskozity v závislosti na změnách teploty
- mají dobrou filtrovatelnost



Technické informace

Charakteristické parametry

Parametr	Jednotka	Hodnota			Norma
		HM 10	HM 22	HM 32	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	10,06	23,25	33,37	ČSN EN ISO 3104
Bod vzplanutí OK	°C	150	188	196	ČSN EN ISO 2592
Bod tekutosti	°C	-42	-33	-33	ČSN ISO 3016
Deem. char. /54 °C/čas	min.	5	5	5	ČSN ISO 6614
Hustota při 15 °C	kg/m ³	843	863	865	ČSN EN ISO 12185

Parametr	Jednotka	Hodnota			Norma
		HM 46	HM 68	HM 100	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	48,48	69,34	100,40	ČSN EN ISO 3104
Bod vzplanutí OK	°C	220	250	268	ČSN EN ISO 2592
Bod tekutosti	°C	-27	-27	-24	ČSN ISO 3016
Deem. char. /54 °C/čas	min.	10	10	15	ČSN ISO 6614
Hustota při 15 °C	kg/m ³	876	866	876	ČSN EN ISO 12185

Hodnoty v tabulce jsou hodnotami typickými pro současnou produkci. Závazné parametry a další informace o výrobku jsou obsaženy v TN 23-148 PARAMO, a.s., a v bezpečnostním listu.
Výrobky PARAMO HM 22, HM 32, HM 46, HM 68 a HM 100 nejsou klasifikovány jako nebezpečné podle Nařízení EP a Rady č. 1272/2008 (CLP). Bližší informace jsou uvedeny v aktuálním BL na www.mogul.cz

Výrobek PARAMO HM 10 je klasifikován jako nebezpečný podle Nařízení EP a Rady č. 1272/2008 (CLP). Bližší informace jsou uvedeny v aktuálním BL na www.mogul.cz